Э. ШРЕДИНГЕР

Что такое жизнь?

SHOUT
SHARE
IT

- Что такое жизнь?
  -
  - Вступление
  - Предисловие
  - Подход классического физика к предмету
    -
    - Общий характер и цели исследования
    - Статистическая физика. Основное различие в структуре
    - Подход к предмету у наивного физика
    - Почему атомы так малы?
    - Работа организма требует точных физических законов
    - Физические законы основаны на атомной статистике и поэтому только приблизительны
    - Точность физических законов основана на большом количестве участвующих атомов
      -
      - А. Первый пример (парамагнетизм)
      - Б. Второй пример (броуновское движение, диффузия)
      - В. Третий пример (пределы точности измерения)
    - Правило √n
  - Механизм наследственности
    -
    - Ожидание классического физика, будучи далеко не тривиальным, оказывается неверным
    - Наследственный шифровальный код (хромосомы)
    - Рост тела путем клеточного деления (митоз)
    - В митозе каждая хромосома удваивается
    - Редукционное деление (мейоз) и оплодотворение (сингамия)
    - Гаплоидные особи
    - Выдающееся значение редукционного деления
    - Кроссинговер. Локализация свойств
    - Максимальный размер гена
    - Малые числа
    - Постоянство
  - Мутации
    -
    - "Скачкообразные" мутации - поле действия

естественного отбора
- Они действительно размножаются, т.е. они наследуются в совершенстве
- Локализация. Рецессивность и доминантность
- Введение некоторых технических терминов
- Вредное действие родственного скрещивания
- Общие и исторические замечания
- Необходимость того, чтобы мутации были редким событием
- Мутации, вызванные х-лучами
- Первый закон. Мутация является единичным событием
- Второй закон. Локализация события

○ Данные квантовой механики
-
- Постоянство, не обьяснимое классической физике
- Объяснимо квантовой теорией
- Квантовая теория-дискретные состояния-квантовые скачки
- Молекулы
- Их устойчивость зависит от температуры
- Математическое отступление
- Первое уточнение
- Второе уточнение

○ Обсуждение и проверка моделей Дельбрюка
-
- Общая картина строения наследственного вещества
- Уникальность этой картины
- Некоторые традиционные заблуждения
- Различные "состояния" материи
- Различие, которое действительно существенно
- Апериодическое твердое тело
- Разнообразное содержание, сжатое в миниатюрный шифр
- Сравнение с фактами: степень устойчивости; прерывность мутаций
- Устойчивочть генов, прошедших естественный отбор
- Иногда мутанты менее устойчивы
- Температура влияет на неустойчивые гены меньше, чем на устойчивые
- Каким образом х-лучи вызывают мутацию?

        - Их влияние не зависит от самопроизвольной мутабильности
        - Обратимые мутации
    - Упорядоченность, неупорядоченность и энтропия
        -
        - Замечательный общий вывод из модели
        - Упорядоченность, основанная на "упорядоченности"
        - Живое вещество избегает перехода к равновесию
        - Оно питается "отрицательной энтропией"
        - Что такое энтропия?
        - Статистическое значение энтропии
        - Организация,поддерживаемая путем извлечения "упорядоченности" из окружающей среды
    - Основана ли жизнь на законах физики?
        -
        - В организме следует ожидать новых законов
        - Обзор положения в биологии
        - Обзор положения в физике
        - Поразительный контраст
        - Два пути возникновения упорядоченности
        - Новый принцип не чужд физике
        - Движение часов
        - Часовой механизм в конечном счете оказывается статистическим
        - Теорема Нернста
        - Маятниковые часы находятся, в сущности, при нулевой температуре
        - Отношение между часовым механизмом и организмом
    - Эпилог. О детерминизме и свободе воли
    - Послесловие переводчика
- notes
    - 1
    - 2
    - 3
    - 4
    - 5
    - 6
    - 7
    - 8
    - 9
    - 10
    - 11

- ○ 12
- ○ 13
- ○ 14
- ○ 15
- ○ 16
- ○ 17
- ○ 18
- ○ 19
- ○ 20
- ○ 21
- ○ 22
- ○ 23
- ○ 24
- ○ 25
- ○ 26
- ○ 27
- ○ 28
- ○ 29
- ○ 30
- ○ 31
- ○ 32
- ○ 33
- ○ 34
- ○ 35
- ○ 36
- ○ 37
- ○ 38
- ○ 39
- ○ 40
- ○ 41
- ○ 42
- ○ 43
- ○ 44
- ○ 45
- ○ 46
- ○ 47
- ○ 48
- ○ 49
- ○ 50
- ○ 51
- ○ 52
- ○ 53

Что такое жизнь?

Лекции, читанные в Тринити-колледж в Дублине в феврале 1943 г.

Москва: Государственное издательство иностранной литературы, 1947 - с.150

Эрвин Шредингер
профессор Дублинского исследовательского института
ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ
с точки зрения физики?

WHAT IS LIFE?
The Physical Aspect of the
Living Cell
By
BRWIN SGHRODINGER
Senior Professor at the Dublin Institute for Advanced Studies
1945

Перевод с английского и послесловие А. А. МАЛИНОВСКОГО

Художник Г. Рифтин

Вступление

Homo liber nulla de re minus quam
de morte cogitat; et ejus sapientia
non mortis sed vitae meditatio est.
Spinoza, Ethica, P. IV, Prop. 67.

Человек свободный ни о чем так
мало не думает, как о смерти, и
его мудрость состоит в размышлении
не о смерти, а о жизни.
Спиноза, Этика, ч. IV, теор. 67.
Ghtlbcckjdbt

Предисловие

Обычно принято думать, что ученый должен в совершенстве знать определенную область науки из первых рук, и поэтому считают, что ему не следует писать по таким вопросам, в которых он не является знатоком. Это рассматривается, как вопрос noblesse oblige[1]. Однако для достижения моей цели я хочу отказаться от noblesse и прошу, в связи с этим, освободить меня от вытекающих отсюда обязательств. Мои извинения заключаются в следующем.

Мы унаследовали от наших предков острое стремление к объединенному, всеохватывающему знанию. Самое название, данное высочайшим институтам познания - университетам, - напоминает нам, что с древности и в продолжение многих столетий универсальный характер знаний был единственным, к чему могло быть полное доверие. Но расширение и углубление разнообразных отраслей знания в течение последних ста замечательных лет поставило нас перед странной дилеммой. Мы ясно чувствуем, что только теперь начинаем приобретать надежный материал для того, чтобы объединить в одно целое все, что нам известно; но с другой стороны, становится почти невозможным для одного ума полностью овладеть более чем какой-либо одной небольшой специальной частью науки.

Я не вижу выхода из этого положения (чтобы при этом наша основная цель не оказалась потерянной навсегда), если некоторые из нас не рискнут взяться за синтез фактов и теорий, хотя бы наше знание в некоторых из этих областей было неполным и полученным из вторых рук и хотя бы мы подвергались опасности показаться невеждами.

Пусть это послужит мне извинением.

Большое значение имеют также трудности с языком. Родной язык каждого является как бы хорошо-пригнанной одеждой, и нельзя чувствовать себя вполне свободно, когда ваш язык не может быть непринужденным и когда его надо заменить другим, новым. Я очень благодарен д-ру Инкстеру(Тринити-колледж, Дублин), д-ру Падрайг Броуну (колледж св. Патрика, Мэйнут) и, наконец (но не меньше, чем другим), мистеру С. К.Робертсу. Им доставило много забот подогнать на меня новое одеяние, и это усугублялось еще тем, что порой я не хотел отказаться от своего несколько "оригинального" собственного стиля. Если что-либо из него сохранилось, несмотря на стремление моих друзей смягчить его, то это должно быть отнесено на мой, а не на их, счет.

Первоначально предполагалось, что подзаголовки

многочисленных разделов будут иметь характер резюмирующих надписей на полях, и текст каждой главы должен был бы читаться in continue (непрерывно)[2].

Я очень обязан д-ру Дарлингтону и издателю Endeavour (Об-во имперских химических производств) за клише для иллюстраций. В них сохранены все первоначальные детали, хотя не все эти детали имеют отношение к содержанию книги.

Дублин, сентябрь, 1944. Э. Ш.

Подход классического физика к предмету

Cogito, ergo sum
Descartes[3].

Общий характер и цели исследования

Эта небольшая книга возникла из курса публичных лекций, прочитанных физиком - теоретиком перед аудиторией около 400 человек. Аудитория почти не уменьшалась, хотя с самого начала была предупреждена, что предмет изложения труден и что лекции не могут считаться популярными, несмотря даже на то, что наиболее страшное орудие физика - математическая дедукция - здесь вряд ли может быть применена. И не потому что предмет настолько прост, чтобы можно было объяснить его без математики, но скорее, обратное - потому что он слишком запутан и не вполне доступен математике. Другой чертой, создающей по крайней мере внешний вид популярности, было намерение лектора сделать основную идею, связанную и с биологией и с физикой, ясной как для физиков, так и для биологов.

Действительно, несмотря на разнообразие тем, включенных в книгу, в целом она должна передать только одну мысль, только одно небольшое пояснение к большому и важному вопросу. Чтобы не уклониться с нашего пути, будет полезно заранее кратко очертить наш план.

Большой, важный и очень часто обсуждаемый вопрос заключается в следующем: как могут физика и химия объяснить те явления в пространстве и времени, которые имеют место внутри живого организма?

Предварительный ответ, который постарается дать и развить эта небольшая книга, можно суммировать так: явная неспособность современной физики и химии объяснить такие явления совершенно не дает никаких оснований сомневаться в том, что они могут быть объяснены этими науками.

Статистическая физика. Основное различие в структуре

Предыдущее замечание было бы весьма тривиальным, если бы оно имело целью только стимулировать надежду достигнуть в будущем того, что не было достигнуто в прошлом. Оно, однако, имеет гораздо более положительный смысл, а именно, что неспособность физики и химии до настоящего времени дать ответ полностью объяснима.

Благодаря умелой работе биологов, главным образом генетиков, за последние 30 или 40 лет теперь стало достаточно много известно о действительной материальной структуре организмов и об их отправлениях, чтобы понять, почему современные физика и химия не могли объяснить явления в пространстве и времени, происходящие внутри живого организма.

Расположение и взаимодействие атомов в наиболее важных частях организма коренным образом отличаются от всех тех расположений атомов, с которыми физики и химики имели до сих пор дело в своих экспериментальных и теоретических изысканиях. Однако это отличие, которое я только что назвал коренным, такого рода, что легко может показаться ничтожным всякому, кроме физика, пропитанного той мыслью, что законы физики и химии являются насквозь статистическими[4]. Именно со статистической точки зрения структура важнейших частей живого организма полностью отличается от любого куска вещества, о которым мы, физики и химики, имели до сих пор дело, практически - в наших лабораториях и теоретически - за письменными столами[5]. Конечно, трудно себе представить, чтобы законы и правила, при этом нами открытые, были непосредственно приложимы к поведению систем, не имеющих тех структур, на которых основаны эти законы и правила.

Нельзя ожидать, чтобы не физик мог охватить (не говорю уже - оценить) все различие в "статистической структуре", формулированное в терминах столь абстрактных, как только что сделал это я. Чтобы дать моему утверждению жизнь и краски, разрешите мне предварительно обратить внимание на то, что будет детально объяснено позднее, а именно, что наиболее существенная часть живой клетки - хромосомная нить - может быть с основанием названа апериодическим кристаллом. В физике мы до сих пор имели дело только с периодическими кристаллами. Для ума простого физика они являются весьма интересными и сложными объектами; они составляют одну из

наиболее очаровательных и сложных структур, которыми неодушевленная природа приводит в замешательство интеллект физика; однако в сравнении с апериодическими кристаллами они кажутся несколько элементарными и скучными. Различие в структуре здесь такое же, как между обычными обоями, на которых один и тот же рисунок повторяется с правильной периодичностью все снова и снова, и шедевром вышивки, скажем, рафаэлевским гобеленом, который дает не скучное повторение, но сложный, последовательный и полный значения рисунок, начертанный великим мастером.

Называя периодический кристалл одним из наиболее сложных объектов исследования, я имел в виду собственно физика. Органическая химия в изучении все более и более сложных молекул действительно подошла гораздо ближе к тому "апериодическому кристаллу", который, на мой взгляд, является материальным носителем жизни. Поэтому не очень удивительно, что химик-органик уже сделал большой и важный взнос в разрешение проблемы жизни, в то время как физик не внес почти ничего.

Подход к предмету у наивного физика

После того как я кратко указал, таким образом, общую идею или, вернее, основную цель нашего исследования, позвольте мне описать самую линию атаки.

Я намереваюсь сначала развить то, что вы можете назвать "представлениями наивного физика относительно организма". Это те представления, которые могут возникнуть в его уме, если, изучив свою физику и, в частности, ее статистические основания, физик начнет думать об организмах, об их поведении и жизнедеятельности и добросовестно спросит себя, - может ли он, исходя из своих знаний, с позиций своей сравнительно простой, ясной и скромной науки, сделать какой-нибудь полезный взнос в данную проблему.

Выяснится, что он это сделать может. Следующим шагом должно быть сравнение теоретических ожиданий физика с биологическими фактами. Тут обнаружится, что хотя в целом его представления кажутся вполне разумными, их, тем не менее, надо значительно улучшить. Этим путем мы постепенно приблизимся к правильной точке зрения или, говоря скромнее, к той точке зрения, которую я считаю правильной.

Даже если бы я был прав в этом, я не знаю, является ли мой путь действительно наилучшим и простейшим. Но, говоря коротко, это был мой путь. "Наивный физик" - был я сам. И я не могу найти никакого лучшего и более ясного пути по направлению к цели, чем мой собственный, хотя, может быть, и извилистый путь.

Почему атомы так малы?

Хорошим способом развить "представления наивного физика" будет задать сначала странный, почти смешной вопрос: почему атомы так малы? А они действительно очень малы. Каждый маленький кусочек вещества, к которому мы прикасаемся в повседневной жизни, содержит огромное их количество. Было предложено много примеров, чтобы уяснить этот факт широкой публике, но не было ни одного более выразительного примера, чем тот, который привел когда-то лорд Кельвин: предположите, что вы можете поставить метки на все молекулы в стакане воды; после этого вы выльете содержимое стакана в океан и тщательно перемешаете океан так, чтобы распределить отмеченные молекулы равномерно во всех морях мирз; если вы далее возьмете стакан воды где угодно, в любом месте океана, - вы найдете в этом стакане около сотни ваших отмеченных молекул[6].

Действительные размеры атомов[7] лежат приблизительно между 1/5000 и 1/2000 длины волны желтого света. Это сравнение имеет особое значение, потому что длина волны приблизительно указывает величину самой маленькой частицы, которую еще можно различить под микроскопом. Таким образом, мы видим, что такая частица содержит еще тысячи миллионов атомов.

Итак, почему атомы так малы?

Ясно, что этот вопрос является обходным, так как в действительности он направлен не на размеры атомов.

Он касается размера организмов и, в частности, размеров нашего собственного тела. В самом деле, атом мал когда он сравнивается с нашей гражданской мерой длины, скажем, с ярдом или с метром. В атомной физике приняты так называемые ангстремы (сокращ.Å), которые равны 10-10 м, или в десятичном изображении -0,0000000001 м. Диаметры атомов лежат между 1 и 2 Å. Гражданские единицы (по сравнению с которыми атомы оказываются так малы) прямо связаны с размерами нашего тела. Есть рассказ, который приписывает происхождение ярда юмору одного английского короля. Когда члены его совета спросили его, какую надо установить единицу длины, то он вытянул руку в сторону и сказал: "Возьмите расстояние от середины моей груди до кончиков пальцев, это будет как раз". Верный или нет, но этот рассказ имеет прямое отношение к нашему вопросу. Естественно, что король хотел указать длину, сравнимую с длиной его тела, так как он знал, что иначе мера была бы очень неудобной. При

всем пристрастии к ангстремам физик все-таки предпочтет, чтобы ему говорили, что его новый костюм потребует 6 1/2 ярдов твида[8] , а не 65 тысяч миллионов ангстремов твида.

Таким образом ясно, что в действительности наш вопрос касается не одного размера, а отношения двух размеров - нашего тела и атома, - считаясь, конечно, с несомненным первичным и независимым существованием атома. Вопрос на самом деле гласит: почему наши тела должны быть такими большими по сравнению с атомами?

Я думаю, что многие, страстно изучающие физику или химию, не раз жалели о том, что все наши органы чувств, составляющие более или менее существенную часть нашего тела и поэтому (принимая во внимание значительные размеры приведенного отношения) сами составленные из неисчислимых атомов, оказываются слишком грубыми, чтобы воспринимать удары отдельного атома. Мы не можем ни видеть, ни слышать, ни чувствовать отдельных атомов. Наши гипотезы об атомах далеко отстоят от непосредственного восприятия наших огромных органов чувств, и эти гипотезы нельзя проверить прямым наблюдением.

Обязательно ли должно быть так? Имеются ли существенные основания для этого? Можно ли объяснить это положение каким-либо основным принципом, чтобы убедиться и понять, что ничто другое не совместимо с законами природы?

Это уже является такой проблемой, которую физик способен выяснить полностью. Ответ на все вопросы получится утвердительный.

Работа организма требует точных физических законов

Если бы дело обстояло не так, если бы человеческий организм был столь чувствителен, что несколько атомов или даже отдельный атом мог бы произвести заметное впечатление на наши органы чувств, - о небо, на что была бы похожа жизнь! Надо подчеркнуть один пункт: организм такого рода был бы наверняка не способен развить ту упорядоченную мысль, которая, пройдя сквозь длинный ряд более ранних стадий, наконец произвела среди многих других идей и самую идею об атоме.

Хотя мы выбираем, как иллюстрацию, лишь один этот пример, однако все последующие соображения также вполне применимы и к функции других органов (а не только мозга и органов чувств). Тем не менее, имеется только одна и единственная вещь, представляющая особый интерес для нас в нас самих, - это то, что мы можем чувствовать, думать я понимать. В отношении тех физиологических процессов, которые ответственны за наши мысли и чувства, все другие процессы в организме играют вспомогательную роль, по крайней мере с человеческой точки зрения, если не с точки зрения объективной биологии. Более того, нашу задачу чрезвычайно облегчит, если мы выберем для исследования такой процесс, который сопровождается субъективными событиями, хотя мы и не знаем истинной природы этого параллелизма. Действительно, на мой взгляд, природа этого параллелизма лежит в стороне от области естественных наук и, весьма возможно, за пределами всякого человеческого понимания.

Таким образом мы встречаемся со следующим вопросом: почему наш мозг и связанная с ним система органов чувств должны обязательно состоять из такого необъятно большого количества атомов, чтобы физиологически изменчивые состояния мозга могли находиться в тесном и интимном соответствии с весьма развитой мыслью? По каким причинам это соответствие несовместимо с таким тонким и чувствительным строением всего механизма (или хотя бы его периферических частей), которое позволило бы при взаимодействии с окружающей средой регистрировать и отвечать на толчок единичного атома извне?

Это основано на том, что явление, которое мы называем мыслью, само по себе есть нечто упорядоченное и приложимо только к такому материалу, то есть к восприятиям или опыту, которые тоже имеют определенную степень упорядоченности.

Отсюда вытекают два следствия: 1) физическая организация, чтобы быть в тесном соответствии с мыслью (как, например, мой мозг с моей мыслью), должна быть очень хорошо упорядоченной организацией, а это значит, что события, происходящие в мозгу, должны подчиняться строгим физическим законам, по крайней мере с очень большой степенью точности; 2) физические впечатления, произведенные на эту физическую, хорошо организованную систему телами извне, очевидно соответствуют познанию и опыту соответствующих мыслей, образуя, как я это упоминал, их материал. Следовательно, физические взаимодействия между нашей системой и другими должны, как правило, сами обладать известной степенью физической упорядоченности, или, говоря иначе, они также должны подчиняться строгим физическим законам с определенной степенью точности.

Физические законы основаны на атомной статистике и поэтому только приблизительны

Почему же все это не может быть выполнено в случае, если организм состоит только из умеренного количества атомов и уже чувствителен к воздействиям одного или немногих атомов?

Потому что мы знаем, что все атомы все время проделывают совершенно беспорядочные тепловые движения, которые, так сказать, противостоят их упорядоченному поведению и не позволяют отнести к какому бы то ни было распознаваемому закону события, происходящие между малыми количествами атомов. Только в соединении огромного количества атомов статистические законы начинают действовать и контролировать поведение этих объединений с точностью, возрастающей с увеличением числа атомов, вовлеченных в процесс. Именно этим путем события приобретают действительно закономерные черты. Все физические и химические законы, которые, как известно, играют важную роль в жизни организмов, относятся к этой статистической категории. Всякий другой род закономерностей и упорядоченностей, который можно себе представить, непрерывно нарушается и делается недействительным вследствие безостановочного теплового движения атомов.

Точность физических законов основана на большом количестве участвующих атомов

Разрешите мне попытаться проиллюстрировать это немногими примерами, выбранными до некоторой степени случайно и, возможно, не самыми лучшими, но на которые можно сослаться читателю, первый раз знакомящемуся с этим положением вещей - положением, которое в современной физике и химии является столь же фундаментальным, как, скажем, в биологии тот факт, что организмы состоят из клеток, или как ньютоновские законы в астрономии, или даже как ряд натуральных чисел 1,2,3,4,5...в математике. Впервые знакомящийся с вопросом не должен ожидать, что он получит из следующих немногих страниц полное понимание и оценку предмета, который связан с известными именами Людвига Больтцмана и Вилларда Гиббса и трактуется в руководствах под названием "статистическая термодинамика".

A. Первый пример (парамагнетизм)

Если вы наполните продолговатую кварцевую трубку кислородом и поместите ее в магнитном поле, вы найдете, что газ[9] намагничивается. Намагничивание основано на том, что кислородные молекулы являются маленькими магнитами и стремятся расположиться параллельно полю, как это происходит с иглой компаса. Но вы не должны думать, что они все действительно поворачиваются параллельно. Ибо, если вы удвоите силу поля, вы получите в вашем кислородном теле удвоенное намагничивание, и эта пропорциональность будет продолжаться до крайне высокой силы поля, - намагниченность увеличивается в той же степени, как и сила поля, которую вы прилагаете.

Это особенно ясный пример чисто статистического закона. Ориентации, которую стремится вызывать это поле, непрерывно противодействует тепловое движение, работающее в пользу случайной ориентации. Результатом этой борьбы является в действительности только то, что острые углы между осями диполей и направлением поля преобладают над тупыми. Хотя единичные атомы непрерывно изменяют свою ориентацию, в среднем они дают (благодаря их огромному количеству) постоянное небольшое преобладание ориентации в направлении поля и пропорционально ему. Это остроумное объяснение

принадлежит французскому физику П. Ланжевену. Оно может быть проверено следующим путем. Если наблюдающееся слабое намагничивание действительно является результатом двух соперничающих тенденций, а именно - магнитного поля, которое стремится причесать все молекулы параллельно, и теплового движения, которое производит случайную ориентацию, то, значит, возможно увеличить намагничивание, не усиливая поля, а ослабив тепловое движение, то есть понизив температуру газа. Это было подтверждено экспериментом, который показывает, что намагничивание обратно пропорционально абсолютной температуре, в количественном согласии с теорией (закон Кюри). Современная экспериментальная техника делает До же возможным, путем понижения температуры, довести тепловое движение до таких малых размеров, что направляющая тенденция магнитного поля может проявить себя, если не полностью, то в достаточной степени для того, чтобы произвести существенную часть "полного намагничивания".

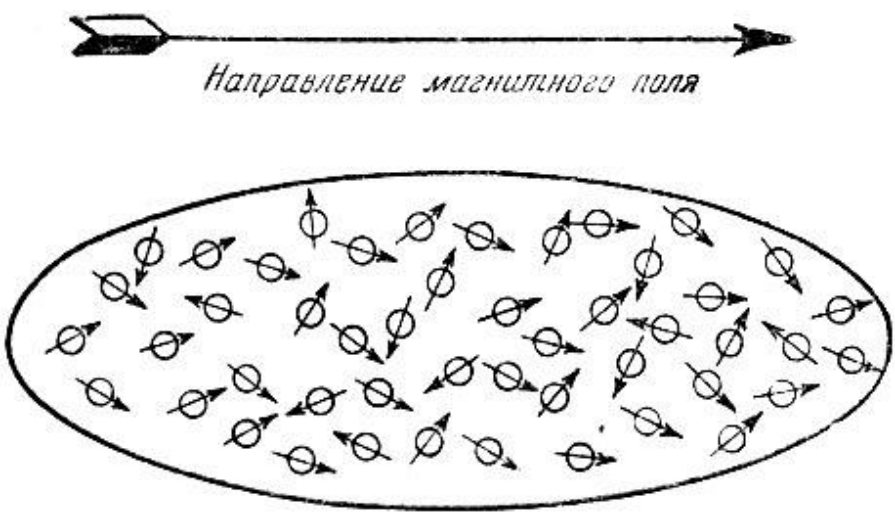

Рис.1. Парамагнетизм

В этом случае мы больше не можем ожидать, что удвоение силы поля удвоит и намагничивание. Последнее с увеличением поля будет увеличиваться все меньше и меньше, приближаясь к тому, что называется "насыщением". Это ожидание также количественно подтверждается экспериментом.

Заметьте, что такое поведение целиком зависит от огромного количества молекул, которые совместно участвуют в создании наблюдаемого намагничивания. В противном случае магнетизм совсем не был бы постоянным и изменялся бы совершенно нерегулярно от одной секунды к другой, свидетельствуя о

превратностях в борьбе между полем и тепловым движением.

Б. Второй пример (броуновское движение, диффузия)

Если вы наполните нижнюю часть закрытого стеклянного сосуда туманом, состоящим из мельчайших капелек, вы увидите, что верхняя граница тумана постепенно понижается с совершенно определенной скоростью, зависящей от вязкости воздуха и от размера и удельного веса капелек. Но если вы посмотрите на одну из капелек под микроскопом, то вы увидите, что она не опускается с постоянной скоростью, а выполняет весьма неправильное движение, так называемое броуновское движение, которое только в среднем соответствует постоянному снижению.

Эти капельки, хотя и не являются атомами, но уже достаточно малы и легки, чтобы чувствовать толчки единичных молекул, которые непрерывно молотят по их поверхности. Толкуемые таким образом капельки могут только в среднем следовать влиянию силы тяжести.

Этот пример показывает, какие удивительные и беспорядочные впечатления получали бы мы, если бы наши органы чувств были восприимчивы к ударам уже немногих молекул.

Имеются бактерии и другие организмы, столь малые, что они сильно подвержены этому явлению. Их движения определяются тепловыми прихотями окружающей среды; они не имеют выбора. Если они обладают собственной подвижностью, то они могут все же передвигаться с одного места на другое, но только с известными трудностями, поскольку тепловое движение швыряет их как маленькую лодку в бурном море.

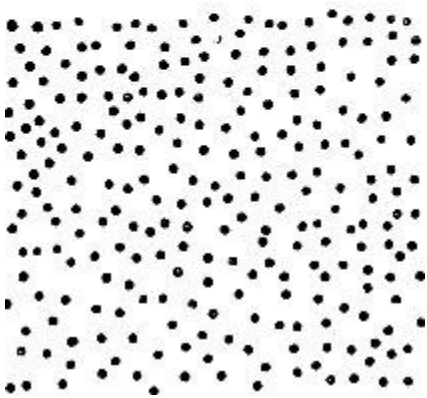

Рис.2. Оседающий туман

Очень сходно с броуновским движением явление диффузии. Представьте себе сосуд, наполненный жидкостью, скажем водой, с небольшим количеством какого-нибудь окрашенного вещества, растворенного в ней, например марганцовокислого калия, но не в равномерной концентрации, а скорее как на рис. 4, где точки означают молекулы растворенного вещества (перманганата) и где концентрация уменьшается слева направо.

Рис.3. Броуновское движение оседающей капли

Если вы оставите эту систему в покое, наступает весьма медленный процесс "диффузии". Перманганат распространяется в направлении слева направо, то есть от места более высокой концентрации к месту более низкой концентрации, пока, наконец, не распределится равномерно по всей воде.

В этом довольно простом и, очевидно, не особенно интересном процессе замечательно то, что он ни в какой степени не связан с какой-либо тенденцией или силой, которая, как это можно было бы подумать, влечет молекулы перманганата из области большей тесноты в область меньшей тесноты, подобно

тому как,например, население страны расселяется в ту часть, где больше простора. С нашими молекулами перманганата ничего подобного не происходит. Каждая из них ведет себя совершенно независимо от всех других молекул, с которыми она встречается весьма редко.

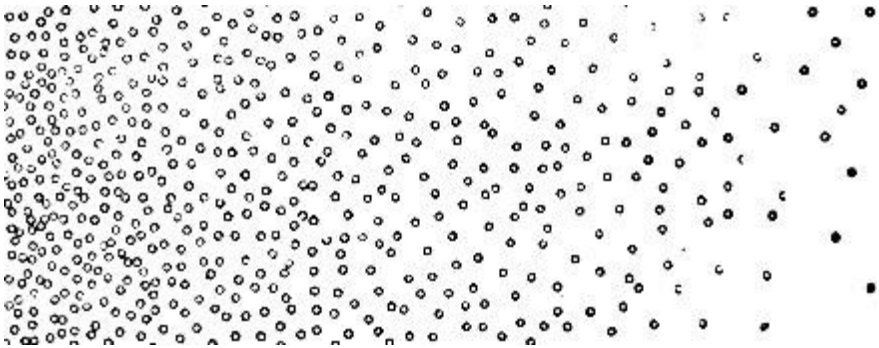

Рис.4. Диффузия слева направо в растворе с неравномерной концентрацией

Каждая из них, как в области большей тесноты, так и в более свободной части, испытывает одну и ту же судьбу. Ее непрерывно толкают молекулы воды, и таким образом она постепенно продвигается в совершенно непредсказуемом направлении, - иногда в сторону более высокой, иногда в сторону более низкой концентрации, а иногда наискось. Характер движения, которое она выполняет, часто сравнивали с движением человека, которому завязали глаза на большой площади и который хочет "пройтись", но не придерживается определенного направления и, таким образом, непрерывно изменяет линию своего движения.

Тот факт, что беспорядочное движение молекул перманганата все же должно вызывать регулярный ток в сторону меньшей концентрации и в конце концов привести к равномерному распределению, на первый взгляд кажется озадачивающим, но только на первый взгляд. При тщательном рассмотрении на рис.4 тонких слоев почти постоянной концентрации можно представить себе, как молекулы перманганата, которые в данный момент содержатся в определенном слое, путем беспорядочных движений будут в действительности с равной вероятностью перемещаться как направо, так и налево. Но именно вследствие этого поверхность, отделяющая два соседних слоя, будет пересекаться большим количеством молекул, приходящих слева, чем в обратном направлении. Это произойдет просто потому, что слева имеется больше беспорядочно движущихся молекул, чем имеется их справа, и до тех пор, пока это так, будет происходить регулярное

перемещение слева направо, пока, наконец, не наступит равномерное распределение.

Если эти соображения перевести на математический язык, то получится точный закон диффузии в форме дифференциального уравнения в частных производных

$$\frac{\partial \varrho}{\partial t} = \mathrm{D}\,\nabla^2\,\varrho,$$

объяснением которого я не буду утруждать читателя, хотя его значение на обычном языке также достаточно просто[10]. Строгая "математическая точность" закона упоминается здесь для того, чтобы подчеркнуть, что его физическая точность должна тем не менее проверяться в каждом конкретном случае. Будучи основана на чистой случайности, справедливость закона будет только приблизительной. Если имеется, как правило, достаточно хорошее приближение, то это только благодаря огромному количеству молекул, которые участвуют в явлении. Чем меньше их количество, тем больше случайных отклонений мы должны ожидать, и при благоприятных условиях, эти отклонения действительно наблюдаются.

B. Третий пример (пределы точности измерения)

Последний пример, который мы дадим, близко сходен со вторым, но имеет особый интерес. Легкое тело, подвешенное на длинной тонкой нити и находящееся в равновесии, часто употребляется физиками для измерения слабых сил, отклоняющих его от этого положения, то есть для измерения электрических, магнитных или гравитационных сил, прилагаемых так, чтобы повернуть его вокруг вертикальной оси (легкое тело должно быть, конечно, выбрано надлежащим образом для каждой специальной цели). Продолжающиеся попытки повысить точность этого весьма часто употребляемого приспособления "крутильных весов" столкнулись с любопытным пределом, который чрезвычайно интересен сам по себе. Выбирая все более и более легкие тела и более тонкую и длинную нить, чтобы сделать весы чувствительными ко все более слабым силам, достигли предела, когда подвешенное тело стало уже чувствительно к ударам теплового движения окружающих молекул и начало выполнять непрерывный неправильный "танец" вокруг своего равновесного положения, танец, весьма сходный с дрожанием капли во втором примере. Хотя это поведение не ставит еще абсолютного предела точности измерений, получаемых с помощью подобных весов, оно все-таки кладет практический предел. Неподдающийся контролю эффект теплового движения конкурирует с действием той силы,

которая должна быть измерена, и лишает значения единичное наблюдаемое отклонение. Вы должны проделать свои наблюдения много раз, чтобы нейтрализовать эффект броуновского движения вашего инструмента. Этот пример, я думаю, является особенно иллюстративным, ибо наши органы чувств, в конце концов, представляют собой тоже род инструмента. Мы можем видеть, как бесполезны они были бы, если бы стали слишком чувствительны.

Правило √n

Теперь достаточно примеров. Я просто добавляю, что нет ни одного закона физики или химии из тех, которые имеют отношение к организму или к его взаимодействию с окружающей средой, который я не мог бы выбрать как пример. Детальное объяснение может быть более сложным, но главный пункт был бы всегда тем же самым, и таким образом, дальнейшее описание стало бы однообразным.

Но я хотел бы прибавить одно важное количественное положение, касающееся степени неточности, которую надо ожидать в любом физическом законе. Это так называемый закон √n. Сначала я иллюстрирую его простым примером, а дальше обобщу его.

Если я скажу, что некоторый газ при определенном давлении и температуре имеет определенную же плотность, то я могу это выразить, сказав, что внутри какого-то объема (который по размеру подходит для эксперимента) имеется при этих условиях как раз n молекул газа. Если в какой-то момент времени вы сможете проверить мое утверждение, то вы найдете его неточным, и отклонение будет порядка √n. Следовательно, если n = 100, вы нашли бы отклонение равным приблизительно 10. Таким образом, относительная ошибка здесь равна 10%. Но если n = 1 миллиону, вы бы, вероятно, нашли отклонение равным примерно 1000, и таким образом относительная ошибка равняется 1/10 %. Теперь, грубо говоря, этот статистический закон является весьма общим. Законы физики и физической химии неточны внутри вероятной относительной ошибки, имеющей порядок 1/√n, где n есть количество молекул, совместно участвующих в проявлении этого закона - в его осуществлении внутри той области пространства или времени (или их обоих), которая подлежит рассмотрению или служит для какого-либо определенного эксперимента.

Вы видите из этого снова, что организм должен иметь сравнительно массивную структуру для того, чтобы наслаждаться благоденствием вполне точных законов как в своей внутренней жизни, так и при взаимодействии с внешним миром. Иначе количество участвующих частиц было бы слишком мало и "закон" слишком неточен. Особенно важным требованием является квадратный корень. Потому что, хотя миллион и достаточно большое число, все-таки точность 1 на 1000 не является чрезмерно хорошей, если существо дела претендует на достоинство быть "Законом Природы".

Механизм наследственности

Das Sein ist ewig; denn Gesetze
Bewahren die lebend'gen Schätze,
Aus weichen sich das All geschmückt.
Goethe[11]

Ожидание классического физика, будучи далеко не тривиальным, оказывается неверным

Итак мы пришли к заключению, что организмы со всеми протекающими в них биологическими процессами должны иметь весьма "многоатомную" Структуру, и для них необходимо, чтобы случайные "одноатомные" явления не играли в них слишком большой роли. Существенно, говорит "наивный физик", чтобы организм мог, так сказать, иметь достаточно точные физические законы, на которых он может строить организацию своей исключительно регулярной и хорошо упорядоченной работы. В какой степени приложимы к реальным биологическим фактам эти заключения, достигнутые, говоря биологически, a priori (то есть с чисто физической точки зрения)?

На первый взгляд может показаться, что эти заключения довольно тривиальны. Биолог, скажем, лет 30 назад мог утверждать, что хотя для популярного лектора вполне уместно подчеркнуть значение статистической физики в организме, как и повсюду, однако этот пункт является все же, пожалуй, чересчур избитой истиной. Ибо действительно, не только тело взрослого индивидуума любого высокоразвитого вида, но и каждая клетка его содержит "космическое" число единичных атомов всех родов. И каждый отдельный физиологический процесс, который мы наблюдаем внутри клетки или в ее взаимодействии с внешней средой, кажется - или казалось 30 лет назад, - вовлекает такое огромное количество единичных атомов и единичных атомных процессов, что точное выполнение всех относящихся сюда законов физики и физической химии было бы гарантировано даже при весьма высоких требованиях статистической физики в отношении "больших чисел". Эти требования я только что иллюстрировал правилом $\sqrt{n}$.

Теперь мы знаем, что такая точка зрения была бы ошибочной. Как мы сейчас увидим, невероятно маленькие группы атомов, слишком малые, чтобы они могли проявлять точные статистические законы, играют главенствующую роль в весьма упорядоченных и закономерных явлениях внутри живого организма. Они управляют видимыми признаками большого масштаба, которые организм приобретает в течение своего развития, они определяют важные особенности его функционирования, и во всем этом выявляются весьма отчетливые и строгие биологические законы.

Я должен начать с краткого подведения итога тому положению, которое имеет место в биологии и, более узко, в генетике; другими словами, я должен суммировать современное состояние знаний в такой области, где я не являюсь авторитетом. Этого нельзя избежать, и поэтому я извиняюсь, особенно перед всяким биологом, за дилетантский характер изложения. С другой стороны, я прошу разрешения изложить вам господствующие представления более или менее догматично. От "бедного" физика-теоретика нельзя ожидать, чтобы он сделал что-нибудь, подобное компетентному обзору экспериментальных данных состоящих из большого количества длинных' и великолепно переплетающихся серий экспериментов по скрещиванию, задуманных с беспрецедентным остроумием, с одной стороны, и из прямых наблюдений над живой клеткой, проведенных со всей утонченностью современной микроскопии,- с другой.

Наследственный шифровальный код (хромосомы)

Разрешите мне воспользоваться словом "план" (pattern) организма в том смысле, в котором биолог называет его "планом в четырех измерениях", обозначая этим не только структуру и функционирование организма во взрослом состоянии или на любой другой определенной стадии, но организм в его онтогенетическом развитии, от оплодотворенной яйцевой клетки до стадии зрелости, когда он начинает размножаться. Теперь известно, что весь этот целостный план в четырех измерениях определяется структурой всего одной клетки, а именно - оплодотворенного яйца. Более того, мы знаем, что он в основном определяется структурой только одной небольшой части этой клетки, ее ядром. Такое ядро в обычном "покоящемся состоянии" клетки представляется как сетка хроматина[12] распределенного в пузырьке внутри клетки. Но в жизненно важных процессах клеточного деления (митоз и мейоз, см. ниже) видно, что ядро состоит из набора частиц, обычно имеющих форму нитей или палочек и называемых хромосомами, количество которых 8 или 12, или, например у человека, 48. Но в действительности я должен был бы написать эти (взятые для примера) числа, как 2x4, 2 x 6,..., 2 x 24, и говорить о двух наборах, чтобы пользоваться этим выражением в том обычном значении, в каком оно употребляется биологом. Потому что, хотя отдельные хромосомы иногда отчетливо различимы и индивидуализированы по форме и размеру, эти два набора почти полностью подобны друг другу. Как мы скоро увидим, один набор приходит от матери (яйцевая клетка) и один- от отца (оплодотворяющий сперматозоид). Именно эти хромосомы или, возможно, только осевая или скелетная нить того, что мы видим под микроскопом как хромосому, содержат в виде своего рода шифровального кода весь "план" будущего развития индивидуума и его функционирования в зрелом состоянии. Каждый полный набор хромосом содержит весь шифр, так что имеются, как правило, две копии последнего в оплодотворенной яйцевой клетке, которая представляет самую раннюю стадию будущего индивидуума.

Называя структуру хромосомных нитей шифровальным кодом, мы разумеем, что всеохватывающий ум, вроде такого, который некогда представлял себе Лаплас и которому каждая причинная связь была бы непосредственно открыта, мог бы, исходя из структуры хромосом, сказать, разовьется ли яйцо при

благоприятных условиях в черного петуха или в крапчатую курицу, в муху или в растение маиса, в рододендрон, жука, мышь или человека. К этому мы можем прибавить, что внешность различных яйцевых клеток очень часто бывает замечательно сходной, и даже когда это не так (как в случае огромных яиц птиц и рептилий), то все же различие оказывается не столько в существенных структурах, сколько в том питательном материале, который в этих случаях добавляется по понятным причинам.

Но термин шифровальный код, конечно, слишком узок. Хромосомные структуры служат в то же время и инструментом, осуществляющим развитие, которое они же предвещают .Они являются и кодексом законов и исполнительной властью или, употребляя другое сравнение, они являются и планом архитектора и силами строителя в одно и то же время.

Рост тела путем клеточного деления (митоз)

Как хромосомы ведут себя в онтогенезе[13]?

Рост организма осуществляется последовательными клеточными делениями. Такое клеточное деление называется митозом. Оно является в жизни клеток не столь частым событием, как этого можно ожидать, учитывая огромное количество клеток, из которых состоит наше тело. Вначале рост идет быстро, и яйцо делится на две "дочерние клетки", которые затем дают поколение из четырех клеток, далее из 8, 16, 32, 64... и т. д. Частота деления не будет оставаться одинаковой во всех частях растущего тела, и это нарушает регулярность этих чисел. Но из их быстрого увеличения можно вывести путем простого вычисления, что в среднем достаточно 50 или 60 последовательных делений, чтобы произвести количество клеток[14] , имеющихся у взрослого человека, или, скажем, в десять раз большее количество, принимая во внимание смену клеток в течение жизни. Таким образом, клетки моего тела, в среднем, оказываются только пятидесятыми или шестидесятыми потомками того яйца, которым я когда-то был.

В митозе каждая хромосома удваивается

Как ведут себя хромосомы в митозе? Они удваиваются, удваиваются оба набора, обе копии шифра. Этот процесс представляет чрезвычайный интерес и его интенсивно изучали, но он слишком сложен для того, чтобы описывать здесь его детали. Основное заключается в том, что каждая из двух дочерних клеток получает "приданое", состоящее из обоих наборов хромосом, в точности подобных тем, какие были у родительской клетки. Таким путем все телесные клетки совершенно подобны друг другу в отношении их хромосомного сокровища[15]. Каждая, даже наименее важная отдельная клетка обязательно обладает полной (двойной) копией шифровального кода. Как бы мало мы ни понимали этот механизм, мы не можем, однако, сомневаться, что этот факт должен иметь какое-то важное отношение к жизни организма. Несколько времени назад мы узнали из газет, что во время своей африканской кампании генерал Монтгомери требовал, чтобы каждый отдельный солдат его армии был детально информирован о всех его намерениях. Если это верно (а это могло быть, принимая во внимание высокую интеллигентность и надежность его войск), то мы имеем великолепную аналогию нашему случаю, в котором соответствующий факт, конечно, является буквально верным. Самым удивительным представляется сохранение удвоенного хромосомного набора при всех митотических делениях. То, что это является выдающейся чертой генетического механизма, наиболее разительно подтверждается одним-единственным исключением из этого правила, исключением, которое мы и должны теперь рассмотреть.

Редукционное деление (мейоз) и оплодотворение (сингамия)

Очень скоро после начала развития особи одна группа клеток резервируется для образования на поздних стадиях так называемых гамет, то есть спермиев или яйцевых клеток (в зависимости от пола особи), необходимых для размножения индивидуума в зрелости.

"Резервируются" - это значит, что они в это время не служат другим целям и испытывают значительно меньше митотических делений. Происходящее в них исключительное, редукционное деление является тем делением, которым завершается развитие гамет у зрелой особи из этих резервированных клеток. Это деление, как правило, происходит лишь незадолго перед тем, как имеет место сингамия. В мейозе двойной хромосомный набор родительской клетки просто разделяется на два единичных набора, каждый из которых идет в одну из двух дочерних клеток - гамет. Другими словами, митотическое удвоение количества хромосом не имеет места в мейозе, количество их остается постоянным, и таким образом каждая гамета получает только половину, то есть только одну полную копию шифровального кода, а не две, например у человека только 24, а не 2*24 = 48.

Клетки, имеющие только один хромосомный набор, называются гаплоидными (от греческого ἁπλοδς, единственный). Таким образом, гаметы гаплоидны, а обычные клетки тела диплоидны (от греческого διπλοδς, двойной). Иногда также встречаются индивидуумы с тремя, четырьмя... или, вообще говоря, с многими хромосомными наборами во всех клетках их тела, и они тогда называются триплоидами, тетраплоидами, ... полиплоидами.

В акте сингамии мужская гамета (сперматозоид) и женская гамета (яйцо) - и та и другая гаплоидные клетки - соединяются, чтобы образовать оплодотворенную яйцевую клетку, которая, следовательно, диплоидна. Один из ее хромосомных наборов приходит от матери и один от отца.

Фотографии на табл. I дают нам некоторое представление о том, как выглядят хромосомы под микроскопом. Я обязан ими д-ру Дарлингтону, в книге которого "Работа с хромосомами"[16] интересующийся читатель найдет гораздо больше документов такого же рода и беспрецедентной красоты. На цветной табл. II я пробую дать схематический обзор трех основных процессов - митоза, мейоза и сингамии у маленькой плодовой мушки

Drosophila, которая имеет гаплоидное хромосомное число 4 и как объект экспериментирования играет такую выдающуюся роль в современной генетике. Четыре различные хромосомы условно отмечены различным цветом: зеленым, черным, красным и синим. Во вставке (a) хромосомный набор диплоидной клетки тела показан в большом масштабе. Это служит только для пояснения диаграмм (b), (c) и (dj, которые даны в уменьшенном масштабе и чисто схематически. Разрешите мне очистить свою совесть признанием, что в случае мейоза я, как в предыдущем описании, так и в диаграмме, допустил некоторое упрощение, которое, однако, для нашей цели совершенно несущественно[17]

Таблица I. Сблизившиеся попарно хромосомы в материнских клетках пыльцы двух видов Tradescantia. Справа - шесть пар в клетках, фиксированных и окрашенных в ацеторсеине. Слева - двенадцать пар в живой клетке, сфотографированной в ультрафиолетовом свете(1000)*

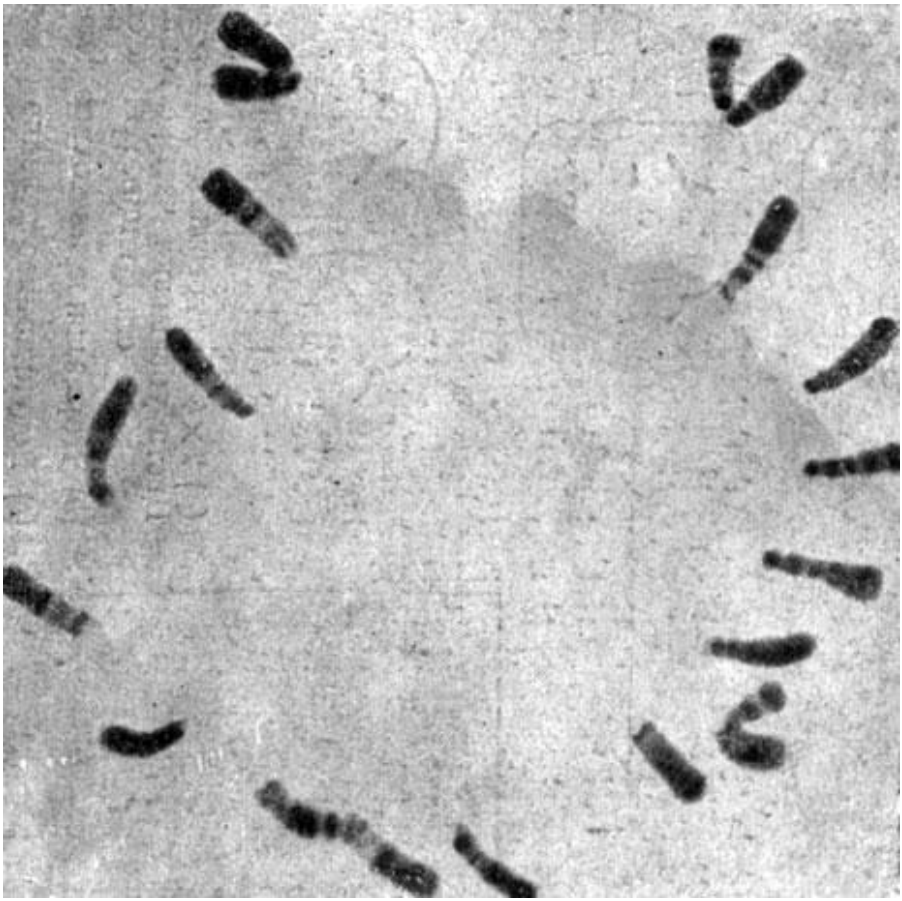

Таблица I. Голодающие хромосомы[18] *в пыльцевых зернах Fritillaria pudica, полученные путем воздействия холодом. Бледные полосы - инертные сегменты (X 1800)*

Гаплоидные особи

Оговорки требует еще один пункт. Хотя Гаплоидные он и не является существенным для нашей особи цели, он, однако, действительно интересен, поскольку показывает, что в каждом единичном наборе хромосом содержится совершенно полный шифровальный код всего "плана" организма.

Имеются примеры мейоза, за которым оплодотворение следует не сразу, и гаплоидная клетка ("гамета") подвергается в это время большому количеству митотических клеточных делений, в результате чего возникает целая гаплоидная особь. Это случай самцов пчелы - трутней, которые развиваются партеногенетически, то есть из неоплодотворенных и поэтому гаплоидных яиц царицы. Трутень не имеет отца! Все клетки его тела гаплоидны.

Если хотите, можно назвать его гигантски увеличившимся сперматозоидом и, действительно, известно, что функционировать в качестве такового является его единственной жизненной задачей. Однако, может быть, это не серьезная точка зрения. Ибо этот случай не является единичным. Есть семейства растений, где гаплоидные клетки, которые образуются при мейозе и называются спорами, падают на землю как семена и развиваются в настоящие гаплоидные растения, сравнимые по размеру с диплоидными. На рис. 5 изображен грубый набросок мха, хорошо известного в наших лесах.

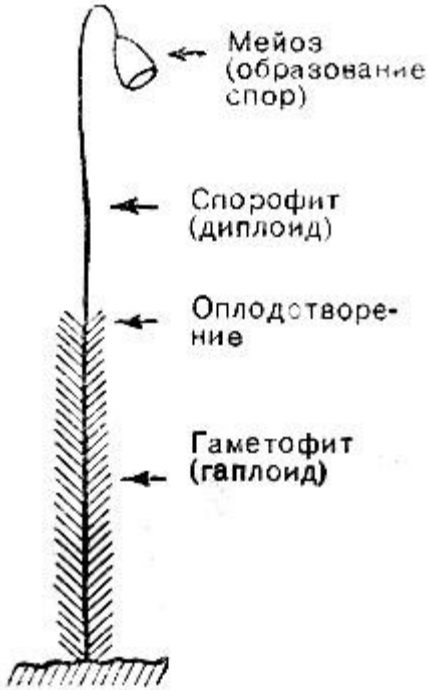

Рис.5. Чередование поколений

Покрытая листочками нижняя часть представляет собой гаплоидное растение, называемое гаметофитом, потому что в своем верхнем конце оно развивает половые органы и гаметы, которые путем оплодотворения производят обычное диплоидное растение - голый стебель с семенной коробочкой на верхушке. Эта часть растения называется спорофитом, так как путем мейоза она производит споры, находящиеся в капсуле на верхушке. Когда капсула открывается, споры падают на землю и развиваются в облиственный стебель. Этот процесс метко назван чередованием поколений. Вы можете, если хотите, рассматривать обычный случай человека и животных с той же точки зрения. Но "гаметофитом" здесь является, как правило, весьма коротко живущее одноклеточное поколение, сперматозоид или яйцевая клетка. Наше тело соответствует спорофиту. Наши "споры" - это резервные клетки, из которых путем мейоза возникает одноклеточное поколение.

Выдающееся значение редукционного деления

Важным и действительно определяющим судьбу событием в процессе воспроизведения индивидуума является не оплодотворение, а мейоз. Один набор хромосом происходит от отца, один - от матери. Ни случайность, ни судьба не могут помешать этому. Каждый человек[19] получает ровно половину своей наследственности от матери и половину от отца. То, что одна линия кажется часто преобладающей, объясняется другими причинами, к которым мы перейдем позже (пол сам по себе, конечно, тоже представляет простейший пример такого преобладания).

Но когда вы проследите происхождение вашей наследственности вплоть до ваших дедов и бабок, то дело оказывается иным. Разрешите мне обратить ваше внимание на набор хромосом, пришедших ко мне от отца, в частности на одну из них, скажем, на хромосому № 5. Это будет точная копия или того № 5, который мой отец получил от своего отца, или того № 5, который он получил от своей матери. Исход дела был решен (с вероятностью 50: 50 шансов) в мейозе, происшедшем в теле моего отца в ноябре 1886 г. и произведшем тот сперматозоид, который немногими днями позже оказался причиной моего зарождения. Точно та же история могла бы быть повторена относительно хромосом № 1, 2, 3... 24 моего отцовского набора и mutatis mutandis относительно каждой из моих материнских хромосом.

Более того, все 48 результатов являются совершенно независимыми. Даже если бы было известно, что моя отцовская хромосома №5 пришла от моего деда Джозефа Шредингера, для № 7 еще оставались бы равные шансы, что она произошла или от него же, или от его жены Марии, урожденной Богнер.

Кроссинговер. Локализация свойств

Но роль случайности в смешении дедушкиной и бабушкиной наследственности у потомков еще больше, чем это могло показаться из предыдущего описания, в котором молчаливо предполагалось или даже прямо утверждалось, что определенные хромосомы пришли как целое или от бабушки, или от дедушки, другими словами, что единичные хромосомы пришли неразделенными. В действительности это не так или не всегда так. Перед тем как разойтись в редукционном делении, скажем в том, которое происходило в отцовском теле, каждые две "гомологичные" хромосомы приходят в тесный контакт одна с другой и иногда обмениваются друг с другом значительными своими частями таким образом, как это показано на рис. 6 (табл. III дает микрофотографию, на которой виден даже еще более тесный и множественный контакт, чем на схеме). Путем такого процесса, называемого "кроссинговер" (перекрест), два свойства, расположенные в соответственных частях этой хромосомы, будут разделены у внука, который окажется похожим одним из этих свойств на дедушку, а другим на бабушку[20].

Явление кроссинговера, будучи не слишком редким, но и не слишком частым, обеспечивает нас ценнейшей информацией о расположении свойств в хромосомах. Чтобы рассмотреть вопрос полностью, мы должны были бы использовать некоторые представления, которые будут даны только в следующей главе (например, гетерозиготность, доминантность и т.д.), но так как это увело бы нас за пределы размеров этой маленькой книги, разрешите мне просто указать на самый важный пункт.

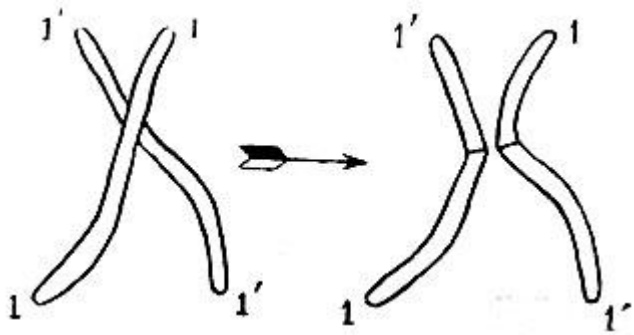

Рис.6. Кроссинговер. Слева - две гомологичные хромосомы в контакте; справа - после обмена и разделения.

Если бы не было кроссинговера, то два признака, за которые ответственна одна и та же хромосома, приходили бы к потомку

всегда вместе, и ни одна особь не могла бы получить один из них, не получив также и другого. Два же свойства, определяемые двумя различными хромосомами, либо имели бы шансы 50 : 50 оказаться отделенными друг от друга, либо всегда расходились бы в потомстве к разным особям, а именно тогда, когда эти свойства расположены у предка в гомологичных хромосомах, которые никогда во время мейоза не идут вместе.

Эти правила и отношения нарушаются кроссинговером, вероятность которого может быть установлена путем тщательного регистрирования процента различных комбинаций признаков у потомства в широких экспериментах по скрещиванию, поставленных надлежащим образом для этой цели. Анализируя результаты таких скрещиваний, принимают убедительную рабочую гипотезу, что "сцепление" между двумя свойствами, расположенными в одной хромосоме, тем реже нарушается кроссинговером, чем ближе эти свойства лежат одно к другому. Ибо тогда менее вероятно, что точка разрыва ляжет между ними, тогда как особенности, расположенные ближе к противоположным концам хромосомы, будут разделяться каждым кроссинговером. (То же самое применимо и к объединению в одной хромосоме двух признаков, расположенных ранее в гомологичных хромосомах одного и того же предка.) Таким путем можно ожидать получения из "статистики сцепления" своего рода "карты признаков" внутри каждой хромосомы.

Это ожидание целиком подтвердилось. В случаях, когда была проведена тщательная проверка (главным образом у Drosophila, хотя и не только у нее), оказалось, что изученные признаки действительно распадаются на такое количество отдельных групп, между которыми нет сцепления, сколько имеется различных хромосом (четыре у Drosoyliila). В пределах каждой группы может быть вычерчена линейная карта признаков, количественно выражающая степень сцепления между каждой парой признаков этой группы; поэтому не может быть больших сомнений, что они действительно расположены в хромосоме и притом линейно, как это заставляет думать и самая палочкообразная форма хромосом.

Конечно, схема наследственного механизма, как она описана здесь, еще пуста и бесцветна, даже слегка наивна. Ибо мы не сказали, что следует разуметь под признаком. Рассекать на дискретные "признаки" организм, который является в сущности единым, "целым", представляется неправильным и невозможным. В действительности мы утверждаем в каждом отдельном случае только, что пара предков различалась в определенном, хорошо выраженном отношении (скажем, один имел голубые глаза, а

другой - карие) и что потомство сходно в этом отношении или с одним или с другим предком. В хромосоме же мы локализуем место этого различия. (Мы называем его на техническом языке "локус"- или, если мы думаем о гипотетической материальной структуре, которая образует его основу,-"ген".) На мой взгляд, основным представлением служит скорее различие признаков, чем признак сам по себе, несмотря на кажущееся словесное и логическое противоречие в этом утверждении. Различие признаков действительно дискретно, как это выявится в следующей главе, когда мы будем говорить о мутациях и когда представленная выше сухая схема, я надеюсь, приобретет больше жизни и красок.

Максимальный размер гена

Мы только что ввели термин ген для гипотетического материального носителя определенной наследственной особенности. Мы должны теперь подчеркнуть два момента, которые будут иметь большое значение для нашего исследования. Первый момент - это размер, или, лучше сказать, максимальный размер этого носителя; другими словами, - до сколь малого объема можем мы проследить локализацию наследственных потенций. Второй момент - это устойчивость гена выведенная из постоянства "наследственного плана".

В отношении размера имеются два совершенно независимых способа определения. Один основан на генетических данных (эксперименты по скрещиванию), другой - на цитологических данных (прямое микроскопическое наблюдение). Первый способ принципиально достаточно прост. Установив описанным выше путем расположение значительного числа различных признаков (большего масштаба) внутри определенной хромосомы (скажем, у мушки Drosophila), мы, чтобы получить требуемую величину, должны только разделить измеренную длину этой хромосомы на количество признаков и умножить на поперечное сечение. Ибо, конечно, мы рассматриваем как отдельные признаки только такие, которые иногда разделяются кроссинговером и не могут быть обусловлены одной и той же (микроскопической или молекулярной) структурой. С другой стороны, ясно, что наш расчет может дать только максимальный размер, потому что количество признаков, изолированных генетическим анализом, непрерывно растет по мере того, как работа идет вперед.

Другая оценка размера, хотя и основанная на микроскопическом наблюдении, в действительности является гораздо менее прямой. Определенные клетки Drosophila (именно, клетки слюнных желез) оказываются по каким-то причинам гигантски увеличенными, и это касается и их хромосом. В этих последних вы различаете скученный рисунок из поперечных темных полосок, пересекающих нить (табл. IV). Дарлингтон подметил, что число этих полосок (2000 в рассматриваемом случае), хотя и заметно больше, но все же того же самого порядка, как и число генов, локализованных в той же самой хромосоме на основании экспериментов по скрещиванию. Он склонен рассматривать эти полоски как действительные гены (или границы между генами). Разделив длину хромосомы, измеренную в клетке нормального размера, на число полосок (2000), он находит объем гена равным кубу со стороной в 300 А ?. Учитывая

всю грубость расчетов, мы можем считать, что такой же размер получается и первым методом.

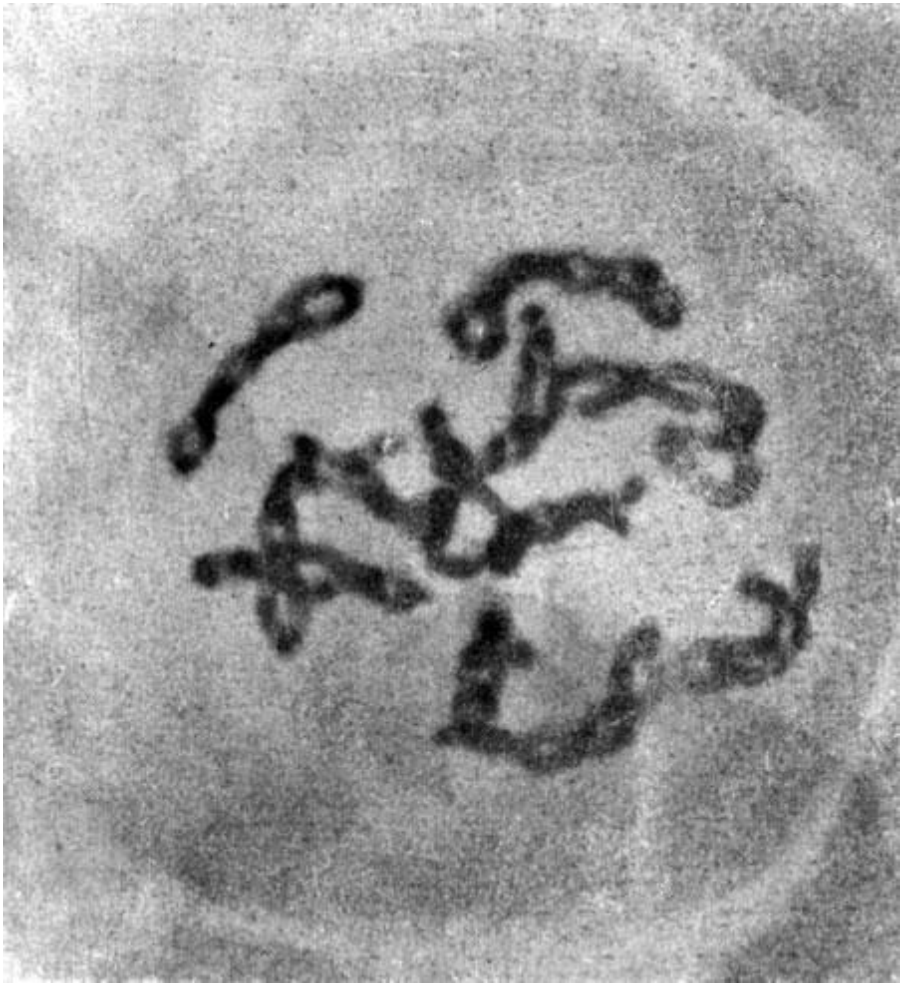

Таблица III. Двенадцать пар сблизившихся хромосом в материнских клетках пыльцы Fritillaria chitralensis. Точки пересечения петель показывают места кроссинговера между партнерами (X 1600)

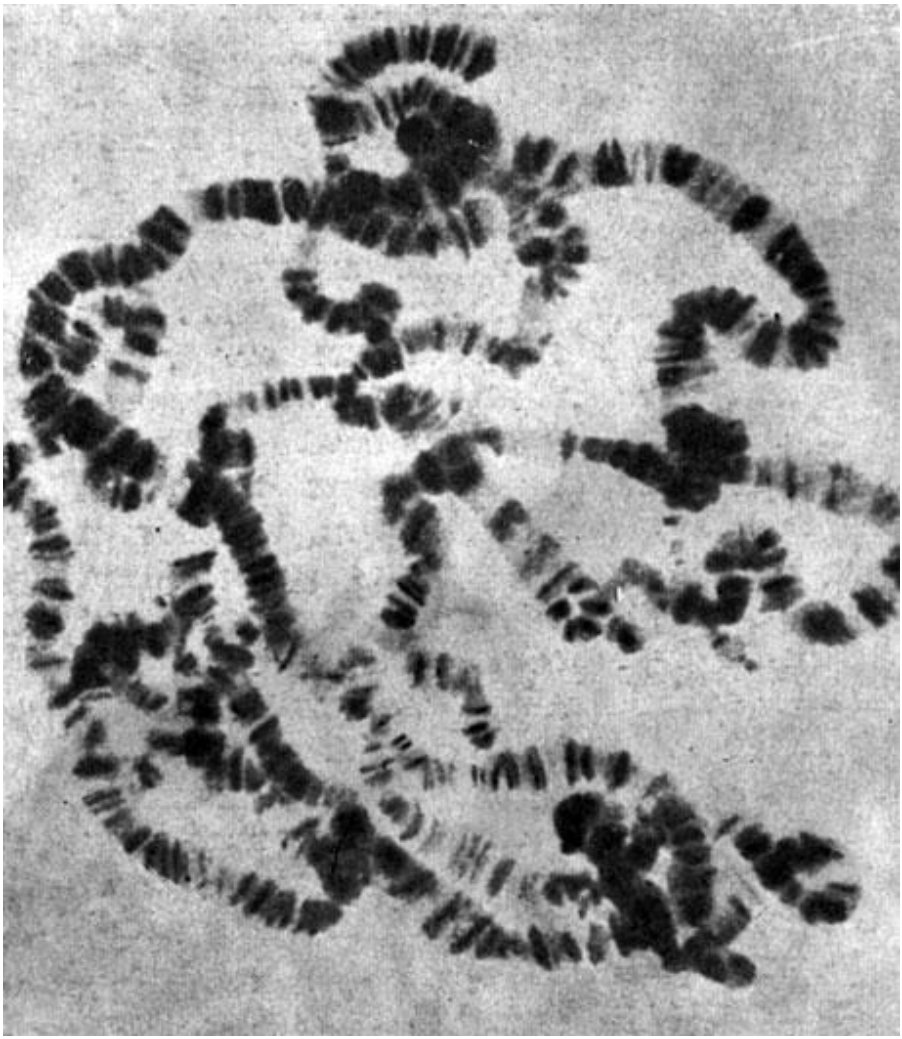

Таблица IV. Покоящееся ядро клетки слюнной железы мушки Drosophila melanogaster. Гены прошли восемь циклов удвоения и поэтому выглядят как серии поперечных полосок, из которых каждая содержит 256 генов. Более крупные гены дают сильнее окрашенные полоски (X 1500)

Малые числа

Подробное обсуждение отношения статистической физики ко всем фактам, которые я изложил (или я, может быть, должен сказать - отношение этих фактов к применению статистической физики в живой клетке), последует позже. Но разрешите мне привлечь ваше внимание сейчас к тому обстоятельству, что 300(А) ? - это только около 100 или 150 атомных расстояний в жидкости или в твердом теле, так что ген, несомненно, содержит не более миллиона или нескольких миллионов атомов. Согласно статистической физике, а это значит- согласно физике вообще, такое число слишком мало (с точки зрения ?n чтобы обусловить упорядоченное и закономерное поведение. Оно было бы слишком мало, даже если бы все эти атомы исполняли одинаковую роль, как в газе или капле жидкости, а ген, почти несомненно, как раз не является гомогенной каплей жидкости. Он, вероятно, большая протеиновая молекула, где каждый атом, каждый радикал, каждое гетероциклическое кольцо играет индивидуальную роль, более или менее отличную от роли любых сходных атомов, радикалов или колец. Это, во всяком случае, точка зрения таких ведущих генетиков нашего времени, как Холдэн и Дарлингтон, и мы скоро должны будем обратиться к генетическим экспериментам, которые почти доказывают это.

Постоянство

Обратимся теперь ко второму, весьма важному вопросу: с какой степенью постоянства мы сталкиваемся в наследственных особенностях и что мы поэтому должны приписать тем материальным структурам, которые их несут.

Ответ на это может быть дан без какого-либо специального исследования. Простой факт, что мы говорим о наследственных особенностях, указывает, что мы признаем это постоянство почти абсолютным. Ибо мы не должны забывать, что от родителя к ребенку передается вовсе не отдельная особенность: орлиный нос, короткие пальцы, предрасположение к ревматизму, гемофилия, дихромазия и т. д. Такие черты удобно вычленять для изучения законов наследственности. Но в действительности из поколения в поколение, без заметного изменения в течение столетий - хотя и не в течение десятков тысяч лет,- передается весь (четырехмерный) план "фенотипа", вся видимая природа индивидуума. При этом в каждом поколении передача осуществляется материальной структурой ядер тех двух клеток, которые соединяются при оплодотворении. Это- "чудо"; имеется только одно еще большее "чудо", хотя и связанное тесно с первым, но относящееся уже к другой сфере. Я подразумеваю тот факт, что мы, чье существование целиком основано на удивительной игре именно этого механизма наследственности, все же обладаем способностью узнать о нем так много. Мне представляется, что в отношении первого чуда наши знания могут дойти едва ли не до полного понимания. Что касается второго, то возможно, что оно вообще лежит за пределами человеческого познания.

Мутации

Und was in schwankender Erscheinung schwebt,
Befestiget mit dauernden Gedanken.
Goethe[21]

"Скачкообразные" мутации - поле действия естественного отбора

Основные факты, которые мы только что выдвинули в доказательство устойчивости, приписываемой генной структуре, может быть, хорошо известны нам и не покажутся поразительными и убедительными. Но на этот раз поговорка, что исключения подтверждают правило, действительно верна. Если бы не было исключений в сходстве между детьми и родителями, мы были бы лишены не только всех прекрасных экспериментов, открывших нам механизм наследственности, но также и грандиозного, миллионнократного эксперимента природы, кующего виды путем естественного отбора и выживания наиболее приспособленных.

Разрешите мне взять последнюю важную проблему исходной точкой для того, чтобы представить относящиеся сюда факты, опять с извинением и с напоминанием, что я не биолог.

Мы теперь определенно знаем, что Дарвин ошибался, когда считал, что материалом, на основе которого действует естественный отбор, служат малые, непрерывные, случайные изменения, обязательно встречающиеся даже в наиболее однородной популяции. Потому что было доказано, что эти изменения не наследственны. Этот факт достаточно важен, чтобы его кратко проиллюстрировать. Если вы возьмете урожай чистосортного ячменя и измерите у каждого колоса длину остей, а затем вычертите результат вашей статистики, вы получите колоколообразную кривую, как это показано на рис. 7.

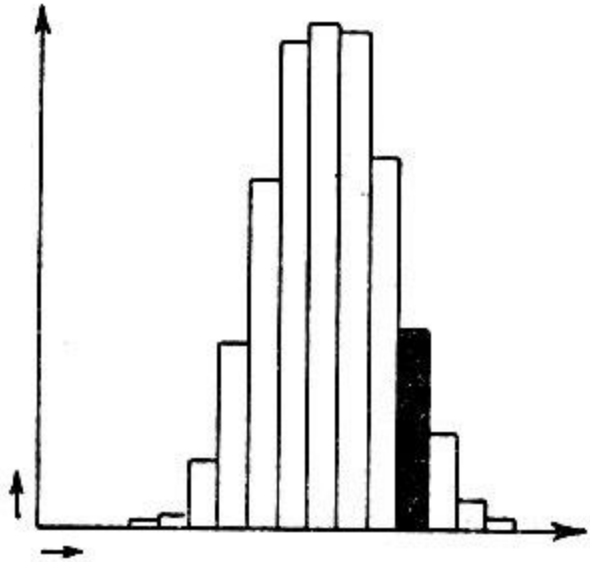

Рис. 7- Статистика длины остей в чистосортном ячмене. Черная группа должна быть отобрана для посева (детали взяты не из реального эксперимента, но подобраны только для иллюстрации)

На этом рисунке количество колосьев с определенной длиной остей отложено против соответствующей длины остей. Другими словами, преобладает известная средняя длина остей, а отклонения в том и другом направлении встречаются с определенными частотами. Теперь выберите группу колосьев, обозначенную черным, с остями, заметно превосходящими среднюю длину, но группу достаточно многочисленную, чтобы при посеве в поле она дала новый урожай. Проделывая подобный же статистический опыт, Дарвин ожидал бы, что для нового урожая кривая сдвинется вправо. Другими словами, он ожидал бы, что отбор произведет увеличение средней величины остей. Однако на деле этого не случится, если использовался действительно чистосортный ячмень. Новая статистическая кривая, полученная для отобранного урожая, будет вполне подобна первой, и то же самое случилось бы, если бы были отобраны для посева колосья с особенно короткими остями.

Отбор не дает результата, потому что малые, непрерывные различия не наследуются. Они, очевидно, не обусловлены строением наследственного вещества, они случайны. Но около 40 лет тому назад голландец де-Фриз открыл, что в потомстве даже совершенно чистосортных линий появляется очень небольшое число особей - скажем, две или три на десятки тысяч - с малыми, но "скачкообразными" изменениями. Выражение "скачкообразные"

означает здесь не то, что изменения очень значительны, а только факт прерывистости, так как между неизмененными особями и немногими измененными нет промежуточных форм. Де-Фриз назвал это мутацией. Существенной чертой тут является именно прерывистость. Физику она напоминает квантовую теорию - там тоже не наблюдается промежуточных ступеней между двумя соседними энергетическими уровнями. Физик был бы склонен мутационную теорию де-Фриза фигурально назвать квантовой теорией биологии. Мы увидим позже, что это значительно больше, чем фигуральное выражение. Мутации действительно обязаны своим происхождением квантовым скачкам в генной молекуле. Но квантовой теории было еще только два года от роду, когда де-Фриз впервые опубликовал свое открытие в 1902 г. Неудивительно, что потребовалось целое поколение, чтобы установить связь между ними!

Они действительно размножаются, т.е. они наследуются в совершенстве

Мутации наследуются так же хорошо, как первоначальные неизмененные признаки. Например, в первом урожае ячменя, рассмотренном выше, могло оказаться несколько колосьев с размером остей, далеко выходящим за пределы изменчивости, показанной на рис. 7, скажем, совсем без остей. Они могли представлять де-фризовскую мутацию и стали бы поэтому размножаться действительно в совершенстве, то есть все их потомки были бы также без остей.

Следовательно, мутация определенно является изменением в наследственном багаже и должна обусловливаться каким-то изменением наследственной субстанции. В самом деле, большинство важных экспериментов, открывших нам механизм наследственности, состояло в тщательном анализе потомства, полученного путем скрещивания мутировавших (а во многих случаях даже множественно мутировавших) индивидуумов с немутировавшими или с иначе мутировавшими. С другой стороны, в силу их свойства действительно передаваться потомкам, мутации служат также подходящим материалом и для естественного отбора, который может работать над ними и производить виды, как это описано Дарвином, элиминируя неприспособленных и сохраняя наиболее приспособленных.

В дарвиновской теории нужно только заменить его "небольшие случайные вариации" мутациями (совсем как в квантовой теории "квантовый скачок" заменяет собой "непрерывные переходы энергии"). Во всех других отношениях в теории Дарвина оказались необходимыми лишь очень небольшие изменения, во всяком случае если я правильно понимаю точку зрения, которой придерживается большинство биологов[22].

Локализация. Рецессивность и доминантность

Теперь мы должны рассмотреть некоторые другие важнейшие факты и представления, касающиеся мутаций, - опять в несколько догматической форме, не показывая, как эти факты и представления возникли один за другим из экспериментальных данных.

Мы должны были бы ожидать, что определенная мутация вызывается изменением в определенной области одной из хромосом. И так это и есть. Важно констатировать: мы твердо знаем, что это изменение происходит только в одной хромосоме и не возникает одновременно в соответствующем "локусе" гомологичной хромосомы. Схематически это показано на рис. 8, где крестом отмечен мутировавший локус.

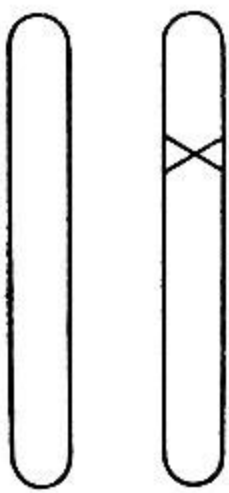

Рис.8. Гетерозиготный мутант. Крестом отмечен мутировавший ген

Факт, что затронута только одна хромосома, обнаруживается, когда мутировавшая особь (часто называемая "мутант") скрещивается с немутировавшей. Ибо при этом ровно половина потомства обнаруживает мутантный признак, а половина - нормальный. Это и есть именно то, чего следует ожидать в результате расхождения у мутанта двух хромосом в мейозе и что показано весьма схематично на рис. 9.

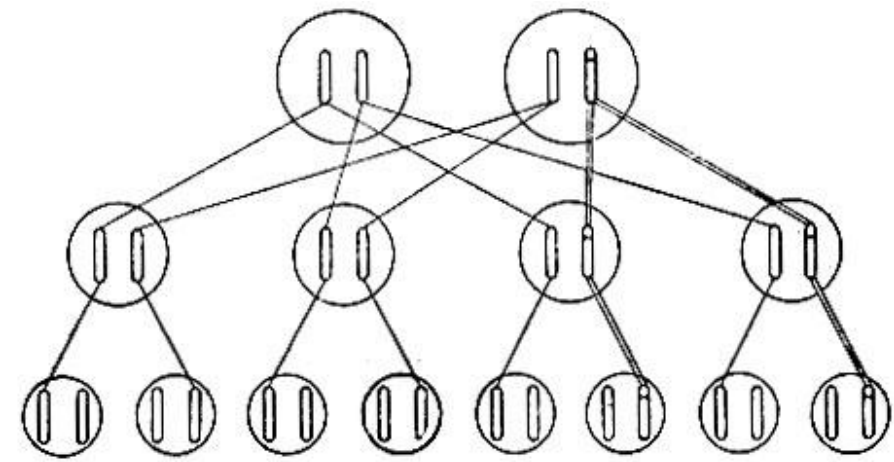

Рис. 9. Наследование мутации. Прямые линии указывают передачу нормальной хромосомы, а двойные - передачу мутировавшей хромосомы. Хромосомы третьего поколения, происхождение которых не указано, приходят невключенными в схему супругов особей второго поколения. Предполагается, что эти супруги не родственны и свободны от мутаций

На этом рисунке дана родословная, где каждый индивидуум (трех последовательных поколений) представлен просто парой хромосом. Пожалуйста, учтите, что если бы обе хромосомы мутанта были изменены, то все дети имели бы одну и ту же (смешанную) наследственность, отличную от наследственности каждого родителя.

Но экспериментировать в этой области не так просто, как могло показаться из вышесказанного. Дело усложняется вторым важным обстоятельством, а именно тем, что мутации весьма часто бывают скрытыми. Что это значит?

У мутантной особи две "копии шифровального кода" больше уже не одинаковы; они представляют два различных "толкования" или две "версии", во всяком случае в том месте, где произошла мутация. Может быть, полезно указать сразу, что хотя это и соблазнительно, но было бы совершенно неверно рассматривать первоначальную версию как "ортодоксальную", а мутантную версию как "еретическую". Мы должны рассматривать их в принципе как равноправные, ибо и нормальные признаки в свое время также возникли путем мутаций.

Действительно, признаки мутантного индивидуума, как общее правило, соответствуют или той или другой версии, причем эта версия может быть как нормальной, так и мутантной. Версия, которой следует особь, называется доминантной, противоположная-рецессивной; другими словами, мутация

называется доминантной или рецессивной в зависимости от того, проявляет ли она свой эффект сразу или нет.

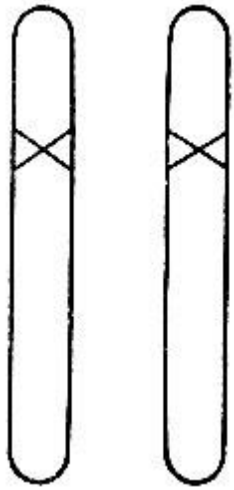

Рис.10. Гомозиготный мутант, полученный в одной четверти потомства при оплодотворении гетерозиготных мутантов (см. рис.8) или при скрещивании их между собой

Рецессивные мутации даже более часты, чем доминантные, и бывают весьма важными, хотя они не сразу обнаруживаются. Чтобы л изменить свойства организма, они должны присутствовать в обеих хромосомах (рис. 10). Такие индивидуумы могут быть получены, когда два одинаковых рецессивных мутанта скрещиваются между собой или когда мутант скрещивается сам с собой. Последнее возможно у гермафродитных растений и происходит даже самопроизвольно. Простое рассуждение показывает, что в этих случаях около четверти потомства будет мутантной внешности.

Введение некоторых технических терминов

Для большей ясности здесь следует объяснить некоторые технические термины. То, что я называю "версией шифровального кода" - будь она первоначальной или мутантной, - принято обозначать термином "аллель". Когда версии различны, как это показано на рис. 8, особь называется гетерозиготной в отношении этого локуса. Когда они одинаковы, как, например, в немутировавших особях или в случае, изображенном на рис. 10, они называются гомозиготными. Таким образом, рецессивные аллели влияют на признаки только в гомозиготном состоянии, тогда как доминантные аллели производят один и тот же признак как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии.

Цвет очень часто доминирует над отсутствием цвета (или белизной). Так, например, горох будет цвести белым цветом, только когда он имеет "рецессивную аллель, ответственную за белый цвет" в обеих соответствующих хромосомах, то есть когда он "гомозиготен по белому"; он будет тогда давать чистое потомство, и все его потомки будут белыми. Но уже одна "красная аллель" (в то время как другая белая - "гетерозиготная особь") сделает цветок красным, и совершенно таким же сделают его и две красные аллели ("гомозиготная особь"). Различие последних двух случаев станет выявляться только в потомстве, когда гетерозиготные красные будут производить некоторое количество белых потомков, а гомозиготные красные будут давать чистое потомство.

То, что две особи могут быть совершенно подобны по внешности и, однако, различаться наследственно, столь важно, что желательно дать этому точную формулировку. Генетик говорит, что у особей один и тот же фенотип, но различный генотип. Содержание предыдущих параграфов может быть, таким образом, суммировано в кратком, но высоко техническом выражении: рецессивная аллель влияет на фенотип, только когда генотип гомозиготен.

Мы будем прибегать время от времени к этим техническим выражениям, напоминая читателю их значение, когда это необходимо.

Вредное действие родственного скрещивания

Рецессивные мутации, пока они гетерозиготны, не служат, конечно, материалом для естественного отбора. Если они вредны, как это часто бывает с мутациями, они, тем не менее, не отбрасываются, потому что они скрыты.

Отсюда следует, что очень большое количество неблагоприятных мутаций может накопляться и не причинять непосредственного вреда. Но они, конечно, передаются половине потомства, и это применимо как к человеку, так и к скоту, домашней птице и другим видам, хорошие физические качества которых имеют для нас непосредственное значение. На рис. 9 предполагается, что мужской индивидуум (скажем, для конкретности, я сам) несет такую рецессивную вредную мутацию в гетерозиготном состоянии, так что она не проявляется. Предположим, что моя жена не имеет ее. Тогда половина наших детей (второй ряд) будет также нести ее, и притом опять в гетерозиготном состоянии. Если все они вступят в брак с немутантными партнерами (опущенными в диаграмме, чтобы избежать путаницы), четвертая часть наших внуков в среднем будет затронута подобным же образом.

Никакой опасности вредных проявлений не возникнет до тех пор, пока такие затронутые индивидуумы не поженятся между собой. Тогда, как показывает простой расчет, четвертая часть детей окажется гомозиготной и проявит вредную мутацию. За исключением самооплодотворения (возможного только у гермафродитных растений) наибольшую опасность представлял бы брак между моим сыном и моей дочерью. Каждый из них имеет одинаковые шансы быть в скрытом виде затронутым или незатронутым, и потому одна четвертая часть таких кровосмесительных союзов была бы опасна, поскольку четвертая часть детей от такого брака проявляла бы вредный признак. Размер опасности для каждого отдельного ребенка, рожденного при кровосмешении, равен, таким образом, 1:16.

Сходные рассуждения показывают, что размер опасности составляет 1:64 для потомства в случае брака моих внуков, которые в то же время являются двоюродными братом и сестрой. Это уже не кажется таким страшным, и действительно, последний случай брака обыкновенно считается терпимым. Но не надо забывать, что мы анализировали последствия только одного скрытого повреждения у одного партнера из пары предков ("я и

моя жена"). В действительности же оба они, весьма возможно, несут в себе более чем один латентный недостаток этого рода. Если вы знаете, что вы сами носите определенный скрытый недостаток, вы должны предполагать с вероятностью 1:8, что ваши двоюродные братья и сестры также разделяют его с вами!

Эксперименты с растениями и животными, по-видимому, указывают, что в добавление к сравнительно редким дефектам серьезного характера имеется масса меньших, случайные комбинации которых ухудшают в целом потомство от родственных скрещиваний. Поскольку мы более не склонны удалять неудачных потомков тем жестоким путем, каким пользовались лакедемоняне на Тайгетской скале[23], мы должны обращать особенно серьезное внимание на близкородственные браки у человека, для которого естественный отбор наиболее приспособленных большей частью ограничен, и даже более того, - обращен в свою противоположность. Антиселективное действие современных массовых убийств здоровых юношей всех национальностей вряд ли оправдывается соображениями, что в более первобытных условиях война могла иметь положительную ценность для отбора, давая возможность пережить наиболее приспособленным племенам

Общие и исторические замечания

Представляется удивительным, что рецессивные аллели в гетерозиготном состоянии полностью подавляются доминантными и совершенно не производят видимого действия. Надо, по крайней мере, упомянуть, что из этого имеются исключения. Когда гомозиготный белый львиный зев скрещивается с гомозиготным же малиновым львиным зевом, все непосредственные потомки оказываются промежуточными по окраске, то есть розовыми (а не малиновыми, как можно было ожидать). Более важный случай двух аллелей, выявляющих свое действие одновременно, наблюдается в кровяных группах, но мы не можем вдаваться здесь в это подробнее. Я не был бы удивлен, если бы в конце концов оказалось, что рецессивность может быть различных степеней и что ее обнаружение зависит от чувствительности приемов, применяемых при изучении "фенотипа".

Здесь, может быть, уместно рассказать о ранней истории генетики. Костяком теории, а именно законами передачи в последующие поколения признаков, которыми различались родители, и в частности, открытием рецессивных и доминантных признаков мы обязаны всемирно известному августинскому аббату Грегору Менделю (1822-1884). Мендель ничего не знал относительно мутаций и хромосом. В своем монастырском саду в Брюнне (Брно) он ставил опыты с садовым горошком, культивируя различные сорта, скрещивая их и наблюдая их потомство в 1-м, 2-м, 3-м..., поколениях. Вы можете сказать, что он экспериментировал с мутантами, найдя их уже готовыми в природе. Результаты он опубликовал еще в 1866 г. в трудах "Nalurforschender Verein in Brunn". Никто, казалось, не интересовался занятиями аббата и никто, конечно, не имел ни малейшего представления о том, что в двадцатом столетии его открытие станет путеводной звездой совершенно новой ветви науки, возможно, наиболее интересной в наши дни. Его работа была забыта, и ее снова обнаружили только в 1900 г. одновременно и независимо друг от друга Корренс (Берлин), де-Фриз (Лейден) и Чермак (Вена).

Необходимость того, чтобы мутации были редким событием

До сих пор мы обращали наше внимание на вредные мутации, которые, может быть, более многочисленны; однако следует определенно указать, что мы встречаемся также и с полезными мутациями. Если самопроизвольная мутация представляет собой небольшую ступеньку в развитии вида, то создается впечатление, что известное изменение "испытывается" вслепую - с риском, что оно может оказаться вредным и в таком случае будет автоматически элиминировано. Отсюда вытекает один очень важный момент. Чтобы быть подходящим материалом для работы естественного отбора, мутации должны быть достаточно редкими событиями, какими они в действительности и оказываются. Если бы они были настолько частыми, что существовала бы большая вероятность появления у одной особи, скажем, дюжины различных мутаций, то вредные, как правило, преобладали бы над полезными, и виды, вместо того чтобы улучшаться путем отбора, оставались бы неулучшенными или погибали бы. Сравнительный консерватизм, являющийся результатом высокой устойчивости генов, имеет очень существенное значение. Аналогию этому можно усмотреть, например, в работе сложного фабричного оборудования на каком-нибудь заводе.

Для развития лучших методов необходимо испытывать различные нововведения, даже непроверенные раньше. Но чтобы выяснить, увеличивают или уменьшают эти нововведения продукцию завода, важно вводить их по одному, тогда как другие части механизма остаются неизмененными.

Мутации, вызванные х-лучами

Мы теперь должны рассмотреть серию чрезвычайно остроумных генетических исследований, которые окажутся наиболее существенными для нашего анализа.

Процент мутаций в потомстве-так называемый темп мутирования - можно увеличить во много раз по сравнению с естественным мутационным темпом, если освещать родителей х - лучами или γ-лучами. Мутации, вызванные таким путем, ничем (за исключением большей частоты) не отличаются от возникающих самопроизвольно, и создается впечатление, что каждая "естественная" мутация может быть тоже вызвана х - лучами. В обширных культурах Drosophila многие особые мутации повторяются снова и снова; они были локализованы в хромосоме, как это описано в § 16, и получили специальные названия. Были обнаружены так называемые "множественные аллели", то есть две или более различных "версий" или "чтений" (в добавление к нормальной немутировавшей) в том же самом месте хромосомного кода. Это означает, что имеются не только два, но три и больше изменений в данном локусе, причем каждые два из них находятся один к другому в отношении "доминантности-рецессивности", когда они оказываются одновременно на своих соответствующих местах в двух гомологичных хромосомах[24].

Эксперименты с мутациями, вызванными х-лучами, создают впечатление, что каждый отдельный "переход", скажем, от нормального инд ивидуума к данному мутанту или наоборот имеет свой индивидуальный "х-лучевой коэффициент", указывающий процент потомства, которое оказывается мутировавшим в данном специальном направлении, если перед зарождением этого потомства родители получили единичную дозу х-лучей.

Первый закон. Мутация является единичным событием

Более того, законы, управляющие частотой появления индуцированных мутаций, крайне просты и бросают чрезвычайно яркий свет на весь вопрос. Я следую здесь изложению Н.В.Тимофеева в Biological Reviews,vol. 9,1934.

В значительной степени оно основывается на собственной прекрасной работе этого автора. Первый закон гласит:

1. Увеличение числа мутаций точно пропорционально дозе лучей, так что можно действительно говорить (как я это и делал) о коэфициенте увеличения.

Мы так привыкли к простой пропорциональности, что склонны недооценивать далеко идущие последствия этого закона. Чтобы оценить их, мы можем вспомнить, что стоимость товара, например, не всегда пропорциональна его количеству. В обычное время то, что вы уже купили шесть апельсинов, может произвести на лавочника такое впечатление, что если вы потом решите взять у него целую дюжину, он, возможно, отдаст вам ее дешевле, чем за двойную цену первых шести. В случае неурожая может случиться обратное. В нашем случае мы заключаем, что первая половина дозы излучения, вызвав, скажем, одну мутацию на тысячу потомков, в то же время совсем не повлияла на остальных потомков ни в сторону предрасположения, ни в сторону иммунизации против мутаций. Ибо в противном случае вторая половина дозы не вызвала бы снова именно одной мутации на тысячу. Мутация, таким образом, не является накопленным результатом последовательного освещения малыми порциями, которые усиливали бы одна другую. Она должна состоять из какого-то единичного явления, происходящего в одной хромосоме во время воздействия х-лучами. Что же это за явление?

Второй закон. Локализация события

На это отвечает второй закон, а именно:

2. Если вы изменяете качество лучей (длину события волны) в широких пределах от мягких x-лучей до довольно жестких γ-лучей, коэфициент остается постоянным при условии, что вы даете ту же самую дозу в так называемых r-единицах. Иначе говоря, коэфициент не изменяется, если вы измеряете дозу общим количеством ионов, возникающих на единицу объема, в подходящем стандартном веществе в течение времени, когда родители подвергаются действию лучей, и в том же самом месте.

В качестве стандартного вещества выбирают воздух, - не только для удобства, но также по той причине, что"ткани организмов состоят из элементов того же среднего атомного веса, как и воздух. Нижний предел числа ионизации или сопровождающих процессов[25] (возбуждений) в тканях получается просто умножением количества ионизации в воздухе на отношение плотностей. Таким образом, совершенно ясно (и это подтверждается более детальным исследованием), что единичное явление, вызывающее мутацию, это и есть как раз ионизация (или сходный процесс), происходящая внутри некоторого "критического" объема зародышевой клетки.

Каков же этот критический объем? Он может быть установлен из наблюдающейся частоты мутирования путем следующего рассуждения: если при дозе 50 тыс. ионов на 1см3 вероятность мутировать в данном специальном направлении для каждой отдельной гаметы, находящейся в облучаемом пространстве, равна только 1 : 1000, мы заключаем, что критический объем - "мишень", в которую надо "попасть" ионизации, чтобы возникла эта мутация - будет только 1/1000 от 1/50 000 см3, то есть, иначе говоря, одна пятидесятимиллионная см3. Цифры здесь не точны, и я их привел только для иллюстрации. В действительном расчете мы следуем М. Дельбрюку (в совместной работе его, Н. В. Тимофеева и К. Г. Циммера)[26]. Эта же работа послужит основным источником при изложении теории в следующих двух главах. Дельбрюк приходит к объему только около десяти средних атомных расстояний в кубе и содержащему, таким образом, только 103 атомов. Простейшее истолкование этого результата сводится к тому, что имеется достаточная вероятность возникновения данной мутации, если ионизация (или возбуждение) происходит не далее, чем на расстоянии около "10 атомов в сторону" от определенного места в хромосоме. Более детально мы это обсудим в дальнейшем.

Статья Тимофеева содержит практический намек, от упоминания о котором я не могу здесь воздержаться, хотя он, конечно, не имеет отношения к настоящему исследованию. В современной жизни бывает множество случаев, когда человек подвергается действию х-лучей. Прямые опасности, включая такие, как ожог, рак, стерилизация, хорошо известны; сестрам и врачам, постоянно имеющим дело с лучами, обеспечивается специальная защита свинцовыми ширмами, фартуками и т.д. Дело, однако, в том, что даже при успешном отражении этих неизбежных опасностей, грозящих индивиду, существует косвенная опасность возникновения небольших вредных мутаций в зачатковых клетках, мутаций того же рода, как и те, с которыми мы встречались, когда речь шла о неблагоприятных результатах родственного скрещивания. Говоря более выразительно - хотя, возможно, это звучит немного наивно, - вредность брака между двоюродными братом и сестрой может быть очень увеличена тем, что их бабушка в течение долгого времени служила сестрой в рентгеновском кабинете. Это не должно быть поводом для беспокойства отдельного человека. Но всякая возможность постепенного заражения человеческого рода нежелательными скрытыми мутациями должна интересовать человеческое общество.

Данные квантовой механики

Und deines Gelstes hochster Feuerflug
Hat schon am Gleichnis, hat am Bild genug.
Goethe[27].

Постоянство, не обьяснимое классической физике

Таким образом, при помощи удивительно тонкого инструмента х -лучей (которые, как помнит физик, дали возможность тридцать лет назад открыть детальную, атомную, решетчатую структуру кристаллов) объединенными усилиями биологов и физиков недавно удалось снизить верхнюю границу размеров микроскопических структур, ответственных за определенные индивидуальные признаки большого масштаба, то есть удалось снизить размеры генов далеко за пределы, указанные в § 17. Мы теперь серьезно стоим перед вопросом: как можно с точки зрения статистической физики примирить то, что генная структура, по-видимому, включает в себя только сравнительно малое число атомов (порядка 1000, возможно, даже еще меньше) и все же проявляет весьма регулярную и закономерную активность и такую долговременность и постоянство, какие граничат с чудом.

Разрешите мне пояснить примером это действительно удивительное положение. Несколько членов Габсбургской династии имели особым образом измененную нижнюю губу("Габсбургская губа"). Ее наследование было изучено очень тщательно, и результаты, вместе с историческими портретами, опубликованы императорской академией в Вене под покровительством самой семьи Габсбургов. Признак оказался настоящей менделеевской "аллелью" по отношению к нормальной губе. Присмотревшись к портрету члена семьи в XVI столетии и к портрету потомка, жившего в XIX столетии, мы можем с уверенностью заявить, что материальная генная структура, ответственная за эту ненормальную черту, была пронесена из поколения в поколение сквозь столетия и в точности воспроизводилась в каждом из не очень многих клеточных делений, лежащих в этом промежутке времени. Более того, количество атомов, заключающихся в соответствующей генной структуре, вероятно, должно быть того же порядка, как и в случаях, проверенных х-лучами. Все это время ген находился при температуре около 35° С. Как понять, что он остался неизменным в течение столетий, несмотря на нарушающую тенденцию теплового движения?

Физик конца прошлого столетия не нашел бы ответа на этот вопрос, если бы приготовился основывать свой ответ только на тех законах природы, которые он тогда действительно понимал.

Может быть, после короткого размышления о статистической ситуации, он бы ответил (как мы увидим, правильно): этими материальными структурами могут быть только молекулы. Химия уже получила в то время широкое представление о существовании этих ассоциаций атомов и об их иногда высокой устойчивости. Но это знание было чисто эмпирическим. Природа молекул не была понята - сильные взаимные связи атомов, сохраняющие форму молекулы, были для всех полной загадкой. Действительно, ответ оказывается правильным, но он имеет ограниченную ценность, поскольку загадочная биологическая устойчивость сводится к столь же загадочной химической устойчивости. Указания, что две особенности, сходные по проявлению, основаны на одном и том же принципе, всегда ненадежны до тех пор, пока неизвестен еще сам принцип.

Объяснимо квантовой теорией

В данном случае этот принцип дается квантовой теорией. В свете современного знания механизм наследственности тесно связан с самой основой квантовой теории и даже более того- опирается на нее. Эта теория была сформулирована Максом Планком в 1900 г. Современная генетика может быть датирована с "открытия" менделевской работы де-Фризом, Корренсом и Чермаком(1900г.) и с работы де-Фриза о мутациях (1901-1903 гг.). Таким образом, время рождения двух великих теорий близко совпадает, и неудивительно, что обе должны были достигнуть определенной степени зрелости, прежде чем между ними могла возникнуть связь. Для квантовой теории потребовалось больше четверти столетия до того, как в 1926- 1927 гг. В. Гейтлером и Ф. Лондоном были очерчены основные принципы квантовой теории химических связей. Гейтлер-Лондоновская теория включает в себя наиболее тонкие и сложные понятия позднейшей квантовой теории (называемой "квантовой механикой" или "волновой механикой"). Изложение ее без применения высшей математики почти невозможно или потребовало бы, по крайней мере, небольшой книги. Но, к счастью, теперь, когда вся работа уже выполнена, становится возможным указать более прямым образом связь между "квантовыми скачками" и мутациями. Это мы и постараемся теперь сделать.

Квантовая теория-дискретные состояния-квантовые скачки

Величайшим открытием квантовой теории были черты дискретности, найденные в книге природы, в контексте которой, с существовавшей прежде точки зрения, казалось нелепостью все, кроме непрерывности.

Первый случай этого рода касался энергии. Тело большого масштаба изменяет свою энергию непрерывно. Например, начавший качаться маятник постепенно замедляется вследствие сопротивления воздуха. Хотя это довольно странно, но приходится принять, что система, имеющая размер атомного порядка, ведет себя иначе. По основаниям, в которые мы не можем здесь входить, мы должны признать, что малая система по самому своему существу может находиться в состояниях, отличающихся только дискретными количествами энергии, называемыми ее специфическими энергетическими уровнями.

Переход от одного состояния к другому представляет собой несколько таинственное явление, обычно называемое "квантовым скачком".

Но энергия - не единственная характеристика системы. Возьмем снова наш маятник- тяжелый шар, подвешенный на шнуре с потолка, который может выполнять движения различного рода. Его можно заставить качаться с севера на юг, или с востока на запад, или в любом другом направлении, или по кругу, или по эллипсу. Но если тихонько дуть на шар с помощью мехов, то можно заставить маятник постепенно переходить от одного типа движения к другому.

Для системы малого масштаба большинство этих или подобных характеристик - мы не можем входить в детали - изменяется прерывисто. Они "квантуются" совершенно так же, как и энергия.

В результате, если некоторое число атомных ядер, включая их свиту из электронов, находится близко друг к другу и образует "систему", то они уже по самому своему существу способны принимать далеко не все те произвольные конфигурации, какие мы можем себе представить. Самая их природа оставляет им для выбора, хотя и весьма многочисленную, но прерывистую серию состояний[28]. Мы обычно называем эти состояния уровнями энергии, так как энергия составляет весьма важную часть характеристики. Но надо понять, что полное описание содержит значительно больше, чем только энергию. По существу

правильнее представлять себе состояние как функцию конфигурации всех частиц.

Переход от одной из таких конфигураций к другой - это квантовый скачок. Если второй конфигурации соответствует большая энергия ("соответствует более высокий уровень"), то для возможности перехода система должна быть снабжена извне, по крайней мере, разностью двух энергий. На более низкий уровень система может перейти самопроизвольно, истратив избыток энергии в форме излучения.

Молекулы

Среди прерывистой серии состояний данной системы атомов необязательно, но все же может существовать наиболее низкий уровень, предполагающий тесное сближение ядер друг с другом. Атомы в таком состоянии образуют молекулу. Здесь следует подчеркнуть, что молекула по необходимости будет иметь известную устойчивость; конфигурация ее не может изменяться, по крайней мере до тех пор, пока она не будет снабжена извне разностью энергий, необходимой, чтобы "поднять" молекулу на ближайший, более высокий уровень. Таким образом, эта разница уровней представляющая собой совершенно определенную величину, характеризует количественно степень устойчивости молекулы. Дальше будет видно, как тесно этот факт связан с самой основой квантовой теории, а именно с дискретностью системы уровней.

Я должен просить читателя принять на веру, что эта система идей была полностью подтверждена данными химии и что она блестяще оправдала себя при объяснении основного факта химической валентности и многих деталей, касающихся структуры молекул, энергий их связей, их устойчивости при различных температурах и т. д. Я говорю о Гейтлер-Лондоновской теории, которая, как я сказал, не может быть изложена здесь детально.

Их устойчивость зависит от температуры

Мы должны удовольствоваться рассмотрением пункта, наиболее интересного для нашего биологического вопроса, а именно-об устойчивости молекул при различных температурах. Примем для начала, что наша система атомов действительно находится в состоянии наиболее низкой энергии. Физик назвал бы это молекулой при абсолютном нуле температуры. Чтобы поднять ее до ближайшего, более высокого состояния или уровня, необходимо снабдить ее определенным количеством энергии. Проще всего попытаться это сделать, "нагрев" нашу молекулу. Вы вносите ее в условия более высокой температуры ("тепловую баню"), позволяя таким образом другим системам (атомам, молекулам) ударяться о нее.

В силу полной неправильности теплового движения нет никакой отчетливой температурной границы, после которой подъем произойдет обязательно и немедленно. Вернее сказать, что при всякой температуре (выше абсолютного нуля) имеется определенная, большая или меньшая, вероятность подъема на новый уровень, причем эта вероятность, конечно, увеличивается с повышением температуры. Наилучший способ выразить эту вероятность - это указать среднее время, которое следует выждать, пока не произойдет подъем, то есть указать "время ожидания".

По исследованию М. Поланьи и Е. Вигнер[29], "время ожидания" зависит преимущественно от отношения двух энергий; одна из них та самая энергетическая разность, какая необходима для подъема (назовем ее W), а другая - характеризует интенсивность теплового движения при данной температуре (обозначим через T абсолютную температуру и через kT эту характеристику[30]). Понятно, что вероятность подъема на новый уровень тем меньше и, значит, время ожидания тем больше, чем выше сам уровень в сравнении с средней тепловой энергией, иначе говоря, чем выше отношение W:kT. Что удивительно - это насколько сильно время ожидания зависит от сравнительно малых изменений отношения W:kT. Например (по Дельбрюку): для W, которое в 30 раз больше чем kT,время ожидания будет всего 1/10секунды, но оно повышается до 16 месяцев, когда W в 50 раз больше kT, и до 30 000 лет, когда W в 60 раз больше kT!

Математическое отступление

Может быть, стоит указать на математическом языке- для тех читателей, кому это доступно - причину такой огромной чувствительности к изменениям в уровне или температуре и добавить несколько физических замечаний подобного же рода. Причина чувствительности в том, что время ожидания, назовем его t, зависит от отношения W:kT как степенная функция, то есть

$$t = \tau e^{W/kT}$$

При этом τ - некоторая малая константа порядка 10>-13или 10-14секунды. Так вот, эта степенная функция не случайная особенность. Она снова и снова повторяется в статистической теории тепла, образуя как бы ее спинной хребет. Это - мера невероятности того, что количество энергии, равное W, может случайно собраться в некоторой определенной части системы, и именно эта невероятность возрастает так сильно, когда требуется многократное превышение средней энергии kT[31]

Действительно, W = 30kT (пример, приведенный выше) уже крайне редкий случай. То, что это не ведет еще к очень долгому времени ожидания (только -1/10 секунды в нашем примере), объясняется, конечно, малой величиной множителя τ.

Этот множитель имеет физический смысл. Его величина соответствует порядку периода колебаний, все время происходящих в системе. Вы могли бы, вообще говоря, сказать: этот множитель обозначает, что вероятность накопления требуемой величины W, хотя и очень мала, повторяется снова и снова "при каждой вибрации", т. е. около 1013 или 1014 раз в течение каждой секунды.

Первое уточнение

Предлагая эти соображения как теорию устойчивости молекул, мы молчаливо приняли, что квантовый скачок, называемый нами "подъемом", ведет если не к полной дезинтеграции, то, по крайней мере, к существенно иной конфигурации тех же самых атомов- к изомерной молекуле, как сказал бы химик, то есть к молекуле, состоящей из тех же самых атомов, но в другом расположении (в приложении к биологии это может представлять новую "аллель" того же самого "локуса", а квантовый скачок будет соответствовать мутации).

Чтобы согласиться с такой интерпретацией, в нашем изложении должны быть исправлены два пункта, которые я намеренно упростил, желая сделать изложение более понятным. На основании сказанного мной выше можно было бы подумать, что только на самом низшем уровне наша группа атомов образует то, что мы называем молекулой, и что даже ближайший более высокий уровень уже является "чем-то другим". Но это не так. В действительности за самым низким уровнем следует густая серия уровней, не связанных с каким-либо заметным изменением конфигурации в целом, но только соответствующих тем малым вибрациям среди атомов, о которых было упомянуто в § 35. Они (эти вибрации) также "квантуются", но со сравнительно малыми скачками от одного уровня к другому. Следовательно, удары частиц "тепловой бани" могут быть достаточными, чтобы переводить молекулу на эти уровни уже при весьма низкой температуре. Если молекула представляет собой растянутую структуру, вы можете вообразить эти вибрации в виде высокочастотных звуковых волн, пересекающих молекулу, не причиняя ей никакого вреда.

Таким образом, первое уточнение не особенно серьезно. Мы должны пренебречь "тонкой вибрационной структурой" в схеме уровней. Термин "следующий, более высокий уровень" надо понимать как такой следующий уровень, какой соответствует известному изменению конфигурации.

Второе уточнение

Второе уточнение объяснить значительно труднее потому, что оно касается некоторых весьма важных, но довольно сложных особенностей схемы интересующих нас различных уровней. Свободный переход от одного из них к другому может быть затруднен совершенно независимо от потребной дополнительной энергии; в действительности затруднение не исключается даже при переходе от более высокого к более низкому уровню.

Начнем с эмпирических фактов. Химику известно, что одна и та же группа атомов при образовании молекул может объединиться более чем одним способом. Такие молекулы называются изомерными ("состоящими из тех же частей"; σος= тот же, μροç=часть). Изомерия не исключение, она является правилом. Чем больше молекула, тем больше оказывается возможных изомеров. На рис. 11 показан один из простейших случаев - два изомера пропилового алкоголя, состоящие каждый из 3 углеродов (С), 8 водородов (Н), 1 кислорода (О).

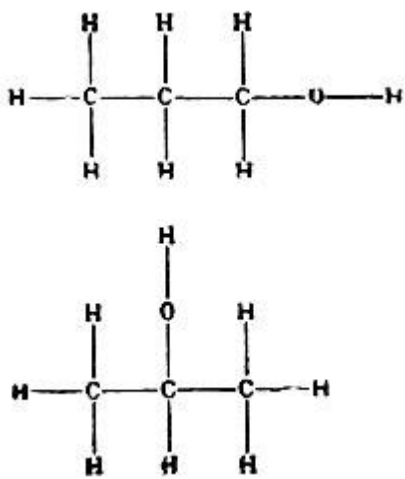

Рис.11. Два изомера пропилового алкоголя

Кислород может быть расположен (вставлен) между любым водородом и соседним углеродом. Но только в двух случаях, показанных на нашем рисунке, получаются разные вещества. И они действительно разные. Все их физические и химические константы ясно различаются. Так же различны и их энергии, - они представляют собой "различные уровни".

Замечателен тот факт, что обе молекулы весьма устойчивы, - обе ведут себя так, как если бы они были "нижним уровнем". Самопроизвольных переходов от одного состояния к другому не

бывает.

Причина здесь та, что эти две конфигурации не являются соседними. Переход от одной к другой может происходить только через промежуточные конфигурации с более высокой энергией, чем у каждой из этих двух. Говоря грубо, кислород должен быть извлечен из одного положения и вставлен в другое (новое). Повидимому, не существует способа сделать это/не проходя конфигураций со значительно более высокими уровнями энергии. Положение иногда наглядно изображается так, как на рис. 12, где 1 и 2 - это два изомера, 3 - "порог" между ними и две стрелки показывают "подъемы", то есть величины энергии, необходимой, чтобы произошел переход от состояния 1 к состоянию 2 или от состояния 2 к. состоянию 1.

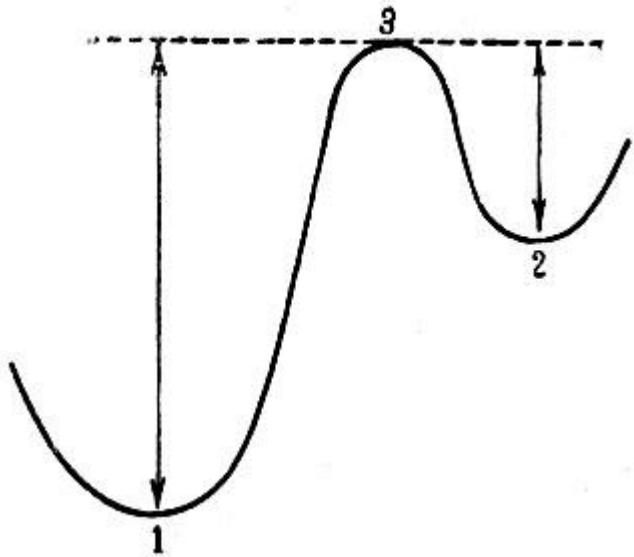

Рис. 12. Энергетический порог 3 между изомерными уровнями 1 и 2. Стрелки указывают минимум энергии, требующейся для перехода

Теперь мы можем сделать "второе уточнение", сводящееся к тому, что в применении к биологии нас будут интересовать переходы только такого "изомерного" типа. Именно их мы и подразумевали, когда объясняли "устойчивость" в §§ 33-35. "Квантовый скачок", имевшийся нами в виду, - это переход от одной относительно устойчивой молекулярной конфигурации к другой. Энергия, необходимая для перехода (величина, обозначаемая W), в действительности является не разностью уровней, а ступенькой от исходного уровня до порога (см. стрелки на рис. 12).

Переходы без порога между исходным и конечным

состояниями совершенно не представляют интереса и не только применительно к биологии. Они действительно ничего не меняют в химической устойчивости молекул. Почему? Они не дают продолжительного эффекта и остаются незамеченными. Ибо когда они происходят, то за ними почти немедленно следует возвращение в исходное состояние, поскольку ничто не препятствует такому возвращению.

Обсуждение и проверка моделей Дельбрюка

Sane sicut lux seipsani et tenebras
manifestat, sic veritas norma sui
et falsi est.
Spinoza, Bthica, P. II, Prop. 43[32].

Общая картина строения наследственного вещества

Изложенные факты дают очень простой ответ на вопрос о том, способны ли эти структуры, состоящие из сравнительно немногих атомов, в течение долгих периодов противостоять нарушающему влиянию теплового движения, непрерывно воздействующего на наследственное вещество? Мы примем, что по своей структуре ген является гигантской молекулой, которая способна только к прерывистым изменениям, сводящимся к перестановке атомов с образованием изомерной[33] молекулы. Перестановка может коснуться небольшой части гена и возможно огромное количество таких различных перестановок. Энергетические пороги, отделяющие данную конфигурацию от любых возможных изомерных, должны быть достаточно высоки (сравнительно с средней тепловой энергией атома), чтобы сделать переходы редкими событиями. Эти редкие события мы будем отождествлять со спонтанными мутациями.

Последующие части этой главы будут посвящены проверке общей картины гена и мутации (разработанной, главным образом, немецким физиком М. Дельбрюком) путем детального сравнения этой картины с генетическими фактами. Однако перед этим следует сделать некоторые замечания по поводу основ и общего характера этой теории.

Уникальность этой картины

Так ли уж необходимо было для решения биологического вопроса докапываться до глубочайших корней и обосновывать картину квантовой механикой? Предположение, что ген - это молекула, является сегодня, смею сказать, общим местом. Только немногие биологи, как знакомые с квантовой теорией, так и незнакомые, не согласились бы с этим. В § 30 мы отважились вложить это предположение в уста доквантового физика как единственное обоснованное истолкование наблюдающегося постоянства. Последующие соображения относительно изомерии, энергетического порога, важнейшей роли отношения W:kT в определении вероятности изомерных переходов, все это могло быть великолепно введено на чисто эмпирическом основании и, во всяком случае, без привлечения именно квантовой теории. Почему же я так упорно настаивал на точке зрения квантовой механики, хотя фактически и не был в состоянии сделать ее ясной в этой маленькой книге и мог очень надоесть многим читателям?

Квантовая механика представляет собой первое теоретическое построение, объясняющее на основе исходных принципов все виды объединений атомов, действительно встречающиеся в природе. Гейтлер-Лондоновское представление о связи составляет единственную в своем роде, своеобразную черту теории, отнюдь не выдуманную для целей объяснения химического сродства. Оно (это представление) вытекает само собой чрезвычайно интересным и удивительным образом, и нас вынуждают к нему совершенно иные соображения. Оказывается, что оно точно соответствует фактам, наблюдаемым в химии и, как я сказал, составляет настолько уникальную и притом хорошо понятую черту теории, что можно с достаточной уверенностью утверждать: "такая вещь не может случиться снова" в дальнейшем развитии квантовой теории[34].

Следовательно, мы можем спокойно признать, что нет другой возможности помимо молекулярного представления о наследственном веществе. Взгляды современной физики не оставляют других путей для понимания его постоянства. Если бы представления Дельбрюка оказались несостоятельными, нам пришлось бы оставить дальнейшие попытки. Это первый пункт, который я хочу отметить.

Некоторые традиционные заблуждения

Но можно задать вопрос: действительно ли кроме молекул нет других устойчивых структур, состоящих из атомов? Разве, например, золотая монета, погребенная в могиле на несколько тысячелетий, не сохраняет черт портрета, вычеканенного на ней? Это верно, что монета состоит из огромного количества атомов, но, конечно, мы не склонны в данном случае приписывать простое сохранение формы статистике больших чисел. То же самое замечание применимо к изящно оформленной группе кристаллов, которую мы находим включенной в горную породу, где она должна была оставаться без изменения в течение геологических периодов.

Это ведет нас ко второму пункту, который я хочу разъяснить. Случаи молекулы, твердого тела и кристалла в действительности не столь различны. В свете современного знания они в сущности оказываются одним и тем же. К сожалению, школьное обучение поддерживает некоторые традиционные взгляды, уже много лет как устаревшие и затрудняющие понимание действительного положения вещей.

В самом деле, то, что мы учили в школе относительно молекул, вовсе не дает представления о том, что они гораздо более сродни твердому состоянию, чем жидкому и газообразному. Наоборот, нас учили тщательно проводить различие между физическим изменением, подобным плавлению или испарению, в котором все молекулы сохраняются (так, например, алкоголь, независимо от того, тверд ли он, жидок или газообразен, - состоит из тех же самых молекул C2H60), и химическим изменением, например, сгоранием алкоголя,

$$C_2H_6O + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O,$$

где молекула алкоголя и три кислородных молекулы подвергаются перестройке и образуют две молекулы углекислого газа и три молекулы воды.

Относительно кристаллов нас учили, что они образуют трехмерную периодическую решетку. В этой решетке иногда возможно распознать структуру единичной молекулы, как, например, в случае алкоголя и большинства органических соединений. В других кристаллах, например в каменной соли (NaCl), молекулы NaCl не могут быть ясно отграничены, потому что каждый атом Na симметрично окружен шестью атомами G1 и наоборот, так что становится почти условностью попытка

рассматривать определенные пары атомов как составляющие одну молекулу.

Наконец, нам говорили, что твердое тело может быть либо кристаллическим, либо нет, и в последнем случае мы называем его аморфным.

Различные "состояния" материи

Я, правда, не стал бы говорить, что все эти утверждения и определения совершенно неверны. Для практических целей они иногда полезны. Но в отношении истинной структуры материи границы должны быть проведены совершенно иным образом. Основное различие лежит между двумя строчками следующей схемы "уравнений":

молекула = твердое тело = кристалл.

газ = жидкость = аморфное тело.

Мы должны кратко пояснить эти утверждения. Так называемые аморфные твердые тела в действительности оказываются либо не аморфными, либо не твердыми. В "аморфных" волокнах древесного угля с помощью x -лучей были открыты рудиментарные структуры кристаллов графита. Таким образом древесный уголь оказывается твердым, но также и кристаллическим телом. Когда мы не находим кристаллической структуры, мы должны рассматривать тело как жидкость с очень высокой "вязкостью" (внутренним трением). По отсутствию у такого вещества определенной температуры плавления и скрытой теплоты плавления легко обнаруживается, что оно не принадлежит к настоящим твердым телам. При нагревании оно постепенно размягчается и без резкого перехода превращается в жидкость. Я вспоминаю, что в конце первой Великой войны нам в Вене выдавали, в качестве заменителя кофе, вещество, похожее на асфальт. Оно было столь твердо, что для того чтобы разрубить небольшой кирпичик на куски, требовалось долото или топорик, и тогда обнаруживался глянцевитый, раковистый разлом. Однако с течением времени оно вело себя как жидкость, плотно заполняя нижнюю часть сосуда, где вы имели неосторожность оставить его на пару дней.

Непрерывность газообразного и жидкого состояния - хорошо известный факт. Вы можете перевести в жидкость каждый газ без резкого перехода, избрав путь "в обход" так называемой критической точки. Но мы здесь не будем углубляться в этот вопрос.

Различие, которое действительно существенно

Мы разобрали таким образом в приведенной выше схеме все, за исключением главного, а это главное заключается в том, что мы хотим рассматривать молекулу как твердое тело = кристалл.

Основанием для этого служит то, что атомы, образующие молекулу, будет ли их много или мало, соединены силами точно такой же природы, как и многочисленные атомы, из которых построено настоящее твердое тело, кристалл. Молекула обладает такой же твердостью структуры, как и кристалл. Вспомните, что из этой же самой твердости мы исходим в объяснении постоянства гена!

Действительно важно в структуре материи, связаны ли между собой атомы Гейтлер-Лондоновскими силами, определяющими стабильность кристаллической структуры, или нет. В твердом теле и в молекуле они связаны. В газе, состоящем из единичных атомов (например, в ртутных парах), нет. В газе, состоящем из молекул, атомы подобным образом связаны только внутри молекул.

Апериодическое твердое тело

Маленькую молекулу можно назвать "зародышем твердого тела". Исходя из такого маленького твердого зародыша, очевидно, возможно представить себе два различных пути построения все больших и больших ассоциаций. Один - это сравнительно однообразный путь повторения снова и снова одной и той же структуры в трех направлениях. Таким путем растет кристалл. Раз периодичность установилась, то уже нет определенной границы для размера такого агрегата. Другой путь - это построение все более и более увеличивающегося агрегата без скучного механизма повторения. Это случай все более и более сложной органической молекулы, в которой каждый атом, каждая группа атомов играет индивидуальную роль, не вполне равнозначную роли других атомов и групп. Мы можем совершенно точно назвать это образование апериодическим кристаллом или твердым телом и выразить нашу гипотезу словами: Мы полагаем, что ген или, может быть, целое хромосомное волокно[35] представляет собою апериодическое твердое тело.

Разнообразное содержание, сжатое в миниатюрный шифр

Часто спрашивали, как такая крошечная частичка вещества - ядро оплодотворенного яйца - может вместить сложный шифровальный код, включающий в себя все будущее развитие организма? Хорошо упорядоченное объединение атомов, наделенное достаточной устойчивостью для длительного сохранения своей упорядоченности, представляется единственно мыслимой материальной структурой, в которой разнообразие возможных ("изомерных") комбинаций достаточно велико, чтобы заключать в себе сложную систему "детерминаций" в пределах минимального пространства. Действительно, не нужно особенно большого количества атомов в такой структуре, чтобы обеспечить почти безграничное число возможных комбинаций. Для примера вспомните об азбуке Морзе. Два различных знака, точка и тире, расположенные в правильные группы не более чем по четыре, позволяют образовать тридцать различных букв. Теперь, если бы вы в добавление к точке и тире применили третий знак и взяли группы не более чем по десять, вы могли бы образовать 29 524 различных "буквы"; с пятью знаками и группами до 25 количество "букв" будет 372 529 029 846 191405.

Можно было бы возразить, что это сравнение неточно, потому что знаки Морзе состоят из различных комбинаций (например,---и ..-) и таким образом они служат плохой аналогией изомерии. Чтобы устранить эту неточность, выберем из третьего примера только комбинации, имеющие точно 25 знаков и ровно по 5 знаков каждого намеченного типа (5 точек, 5 тире и т. д.). Грубый подсчет дает количество комбинаций, равное 62 330 000 000 000, где нули в правой части стоят вместо цифр, которые я не дал себе труда вычислить.

Конечно, в действительности далеко не "каждая" комбинация группы атомов будет представлять возможную молекулу; более того, не может быть и речи о том, чтобы шифр был выбран произвольно, так как шифровальный код должен быть одновременно фактором, вызывающим развитие. Но с другой стороны, выбранное в примере количество "атомов" (25) все-таки еще очень мало, и мы имели дело лишь с простейшим случаем расположения в одну линию. Мы только хотели проиллюстрировать, что представив себе ген в виде молекулы, мы не можем считать немыслимыми точное соответствие миниатюрного шифровального кода чрезвычайно сложному и

специфическому плану развития, а также и содержание в нем факторов, реализующих этот план.

Сравнение с фактами: степень устойчивости; прерывность мутаций

Теперь, наконец, перейдем к сравнению теоретической картины с биологическими фактами. Первый естественный вопрос: может мутаций ли эта картина действительно объяснить наблюдаемую нами высокую степень постоянства? Приемлемы ли пороговые значения требуемой величины - многократные произведения средней тепловой энергии кТ, находятся ли они в пределах, известных из обычной химии? Это тривиальный вопрос; на него можно ответить утвердительно, и не заглядывая в таблицы. Срок жизни молекул любого вещества, которое химик способен изолировать при данной температуре, должен при этой температуре измеряться по крайней мере минутами. (Это еще сказано мягко; как правило, их срок жизни гораздо больше.) Таким образом, пороговые значения, с которыми сталкивается химик, неизбежно имеют именно тот порядок величины, который нужен, чтобы объяснить практически любую степень постоянства, с какой может столкнуться биолог; ибо мы помним из § 34, что пороги, варьирующие внутри границ около 1: 2, могут обеспечить сроки жизни, достигающие от долей секунды до десятков тысяч лет. Но позвольте мне напомнить цифры для последующих ссылок. Отношения W/кТ, упомянутые для примера в § 34, а именно

$$\frac{W}{\kappa T} = 30; 50; 60,$$

дают соответственные сроки жизни 1/10 сек.,16 месяцев, 30 тыс. лет, что отвечает при комнатной температуре пороговым величинам 0*9, 1*5, 1*8 электрон-вольт.

Следует объяснить единицу "электрон-вольт", удобную для физика, потому что она может быть сделана наглядной. Например, третье число (1*8) означает, что электрон, ускоряемый напряжением около двух вольт, имел бы как раз достаточную энергию, чтобы вызвать путем удара переход к другой структуре. (Для сравнения укажу, что батарея обычного карманного фонарика имеет напряжение 3 вольта.)

Эти соображения делают понятным, что изомерное изменение конфигурации в определенной части нашей молекулы, произведенное случайным отклонением в величине вибрационной энергии, может действительно быть достаточно редким событием, чтобы истолковываться как самопроизвольная

мутация. Таким образом мы объясняем, с помощью принципов квантовой механики, наиболее удивительную особенность мутаций, особенность, впервые привлекшую внимание де Фриза, а именно то, что они оказываются "скачкообразными" изменениями без наличия промежуточных форм.

Устойчивочть генов, прошедших естественный отбор

Установив, что естественная частота мутаций увеличивается различными видами ионизирующих лучей, можно было бы думать, что сама эта естественная частота определяется радиоактивностью почвы и воздуха и космическими лучами. Но количественное сравнение с результатами действия х-лучей показывает, что "естественное излучение" слишком слабо и может быть ответственно только за небольшую часть естественной скорости мутационного процесса.

Если признать, что нам приходится объяснять редкие естественные мутации случайными колебаниями теплового движения, то мы не должны особенно удивляться, что природа сумела провести тонкий выбор пороговых величин энергии, необходимых, чтобы сделать мутации редкими. Ибо мы уже раньше в этих лекциях пришли к заключению, что частые мутации были бы пагубны для эволюции. Индивидуумы, получающие путем мутации генные конфигурации недостаточной устойчивости, имеют мало шансов на то, чтобы их "ультрарадикальное", быстро мутирующее потомство просуществовало долго. Вид путем естественного отбора будет освобождаться от них и таким образом накоплять устойчивые гены.

Иногда мутанты менее устойчивы

Но в отношении мутантов, появляющихся в экспериментах по скрещиванию и отбираемых нами для изучения их потомства, у нас, конечно, нет оснований ожидать, что они все будут проявлять такую же высокую стабильность. Ибо они еще не были "испытаны", а если и были, то в диких популяциях оказались "отвергнутыми" вследствие слишком высокой мутабильности. Во всяком случае, нас совсем не удивляет, что действительно некоторые из этих мутантов обнаруживают более высокую мутабильность, чем нормальные "дикие" гены.

Температура влияет на неустойчивые гены меньше, чем на устойчивые

Это дает нам возможность проверить нашу формулу мутабильности, которая имела вид:

$$t = \tau e^{W/kT}$$

(Напоминаю, что t это время ожидания для устойчивые мутации с порогом энергии W). Мы спрашиваем: как будет изменяться в зависимости от температуры . Из предыдущей формулы мы легко находим с хорошим приближением отношение значения t при температуре T + 10 к значению t при температуре T

$$\frac{t_{T+10}}{t_T} = e^{-10W/kT^2}.$$

Поскольку показатель отрицателен, отношение, естественно, оказывается меньше единицы. Время ожидания уменьшается с повышением температуры, мутабильность возрастаете Но это может быть проверено и действительно было проверено на мушке Drosophila в пределах температуры, которую выдерживает это насекомое. Результат был на первый взгляд удивительным. Низкая мутабильность диких генов отчетливо возросла, но сравнительно высокая мутабильность, наблюдающаяся у некоторых уже мутировавших генов, возросла значительно меньше. Это как раз то, чего мы ожидаем при сравнении наших двух формул. Большая величина W/кТ, требуемая согласно первой формуле, чтобы сделать / большим (устойчивый ген), обусловит малую величину отношения, вычисляемого по второй формуле, то есть, иначе говоря, определит существенное увеличение мутабильности с повышением температуры (действительные величины отношения, повидимому, лежат приблизительно между l/2 и l/5. Обратную величину, 2*5, в обычной химической реакции мы называем коэфициентом Вант-Гоффа).

Каким образом х-лучи вызывают мутацию?

Обратимся теперь к мутационному темпу под влиянием х - лучей. Мы уже пришли к? заключению на основе экспериментов по скрещиванию, что, во-первых (из пропорциональности мутационного темпа и дозы), мутацию вызывает некоторое единичное событие; во-вторых (из количественных данных и из того факта, что мутационный темп определяется общей плотностью ионизации и не зависит от длины волны), что это единичное событие должно быть ионизацией или сходным процессом. Чтобы произвести специфическую мутацию, этот процесс должен происходить внутри определенного объема размером только около 10 атомных расстояний в кубе. Согласно нашему представлению, энергия для преодоления порога должна быть получена из этого взрывоподобного процесса ионизации или возбуждения. Я называю его взрывоподобным, потому что энергия, потраченная в одной ионизации (потраченная побочно, не самим х -лучом, но вторичным электроном, который он образует), хорошо известна и сравнительно огромна, равняясь 30 электрон-вольтам.

Эта энергия должна превратиться в чрезвычайно усиленное тепловое движение вокруг точки, где произошел взрыв, и распространиться отсюда в форме "тепловой волны", то есть волны интенсивных колебаний атомов. То, что эта тепловая волна еще способна передать требуемую пороговую энергию от одного до двух электрон-вольт на средний "радиус действия" около десяти атомных расстояний, является вполне мыслимым, хотя непредубежденный физик, может быть, и предсказал бы несколько меньший радиус действия. Во многих случаях результат взрыва приведет не к упорядоченному изомерному переходу, а к повреждению хромосомы, к повреждению, которое станет смертельным для организма (летальным), если путем искусного скрещивания удалить неповрежденного партнера (соответствующую хромосому второго набора) и заместить его партнером (хромосомой же), о котором известно, что соответствующий ген у него также вызывает смертельный эффект. Безусловно, этого надо ожидать, и это действительно в точности и наблюдается.

Их влияние не зависит от самопроизвольной мутабильности

Немногие другие особенности, если и не могут быть предсказаны из нарисованной выше картины, то все же легко понятны. Например, неустойчивый мутант не обнаруживает более высокого мутационного темпа под влиянием х -лучей, чем устойчивый мутант. Но имея в виду, что взрыв дает энергию в 30 электрон-вольт, вы, конечно, поймете, что не составит большого различия, будет ли требуемая пороговая энергия немного больше или немного меньше, скажем, 1 или 1*3 вольта.

Обратимые мутации

В некоторых случаях переход изучался в обоих направлениях, скажем, от "дикого" гена к определенному мутантному гену и обратно, от мутантного к дикому. В этих случаях естественный темп мутирования иногда почти один и тот же, а иногда весьма различен. На первый взгляд это представляется странным, потому что порог, который надо преодолеть, казалось бы, один и тот же в обоих случаях. Но конечно, такое положение нельзя считать обязательным, потому что порог должен измеряться от энергетического уровня исходной конфигурации, а этот уровень может быть различным для дикого и мутантного гена (см. рис. 12 на стр. 80, где 1 относится к дикому гену, а 2 к мутантному, меньшая устойчивость которого изображается тогда более короткой стрелкой).

В целом, я думаю, "модель" Дельбрюка достаточно хорошо выдерживает проверку, и ее использование в дальнейших рассуждениях вполне оправдано.

Упорядоченность, неупорядоченность и энтропия

Nec corpus mentem ad cogitandum
nce mens corpus ad motum,
neque ad quietem nec ad aliquid
(si quid est)aliud determinate potest.
Spinoza, Btbica, P. Ill, Prop.2[36].

Замечательный общий вывод из модели

Разрешите мне вернуться к последней фразе § 44, в которой я пытался объяснить, что молекулярная теория гена сделала, во всяком случае, вполне мыслимым, "что миниатюрный цифр точно соответствует весьма сложному и специфическому плану развития и каким-то образом содержит факторы, реализующие этот план". Хорошо, но как он делает это? Как перейти от "мыслимости" к действительному пониманию?

Молекулярная модель Дельбрюка в ее совершенно общей форме не содержит, видимо, намеков на то, как действует наследственное вещество. И в самом деле, я не ожидаю, чтобы от физиков в ближайшем будущем на этот счет могли быть получены сколько-нибудь подробные сведения. Успехи в решении этой проблемы есть и, я уверен, будут продолжаться, но в области биохимии и при руководящей роли физиологии и генетики.

Никаких детальных данных о функционировании генного механизма нельзя извлечь из столь общего описания его структуры, какое дано выше. Это ясно. И тем не менее, как это ни странно, все же имеется одно общее заключение, вытекающее из него, и оно-то, признаюсь, было единственной причиной, побудившей меня написать эту небольшую книгу.

Из общей картины наследственного вещества, нарисованной Дельбрюком, следует, что живая материя, хотя и не избегает действия "законов физики", установленных к настоящему времени, по-видимому, заключает в себе до сих пор неизвестные "другие законы физики", которые, однако, раз они открыты, должны будут составить такую же неотъемлемую часть этой науки, как и первые.

Упорядоченность, основанная на "упорядоченности"

Эта довольно тонкая цепь рассуждений трудна для понимания во многих отношениях. Все последующие страницы посвящены тому, чтобы сделать ее ясной. Предварительно, грубо, но не совсем неверно она может быть изложен! таким образом:

В первой главе было объяснено, что законы физики, как мы их знаем, это статистические законы[37]. Они связаны с естественной тенденцией вещей переходить к неупорядоченности.

Но для того, чтобы примирить высокую устойчивость носителей наследственности с их малыми размерами и обойти тенденцию к неупорядоченности, нам пришлось "изобрести молекулу", необычно большую молекулу, которая должна быть шедевром высоко диференцированной упорядоченности, охраняемой волшебной палочкой квантовой теории. Законы случайности не обесцениваются этим "изобретением", но изменяется их проявление. Физик хорошо знает, что классические законы физики модифицируются квантовой теорией, особенно при низкой температуре. Этому имеется много примеров. Жизнь представляется одним из них, особенно удивительным. Жизнь представляет собой упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но частично и на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время.

Для физика - но только для него - я надеюсь пояснить свою точку зрения словами: живой организм представляется макроскопической системой, частично приближающейся в своих проявлениях к чисто механическому (по контрасту с термодинамическим) поведению, к которому стремятся все системы, когда температура приближается к абсолютному нулю и молекулярная неупорядоченность снимается.

Не физику покажется трудным поверить, что обычные законы физики, которые он рассматривает как образец ненарушимой точности, должны основываться на статистической тенденции материи переходить к неупорядоченности. Я дал примеры этому в главе I. Общим принципом здесь является знаменитый Второй Закон Термодинамики (принцип энтропии) и его столь же знаменитое статистическое обоснование. В §§ 54-58 я попытаюсь дать беглый очерк приложения принципа энтропии к основным особенностям поведения живого организма, забыв на момент все,

что известно о хромосомах, наследственности и т.д.

Живое вещество избегает перехода к равновесию

Что является характерной чертой жизни? Когда мы говорим про кусок материи, что он живой? Когда он продолжает "делать что-либо", двигаться, обмениваться веществами с окружающей средой и т. д., -и все это в течение более долгого времени, чем по нашим ожиданиям мог бы делать неодушевленный кусок материи при подобных же условиях. Если неживую систему изолировать или поместить в однородные условия, всякое движение, обычно, очень скоро прекращается в результате различного рода трений; разности электрических или химических потенциалов выравниваются, вещества, которые имеют тенденцию образовывать химические соединения, образуют их, температура становится однообразной благодаря теплопроводности. После этого система в целом угасает, превращается в мертвую инертную массу материи. Достигнуто неизменное состояние, в котором не возникает никаких заметных событий.

Физик называет это состоянием термодинамического равновесия или "максимальной энтропии".

Практически состояние этого рода обычно достигается очень быстро. Теоретически очень часто это ещё не абсолютное равновесие, еще не действительный максимум энтропии. Но окончательное приближение к равновесию происходит очень медленно. Оно может потребовать часы, годы, столетия... Дадим один пример, - пример, в котором приближение идет еще очень быстро: если стакан, наполненный чистой водой, и другой, наполненный подслащенной водой, поместить вместе в герметически закрытом ящике при постоянной температуре, то сначала кажется, что ничего не происходит, и возникает впечатление полного равновесия. Но через день или около этого становится заметным, как чистая вода, вследствие более высокого давления ее паров, постепенно испаряется и конденсируется в растворе сахара. Последний переливается через край. Только после того как чистая вода испарится полностью, сахар достигнет своей цели - равномерно распределится по всей доступной жидкой воде.

Эти конечные этапы медленного приближения к равновесию никогда не могли бы быть приняты за жизнь, и мы можем пренебречь ими здесь. Я упоминаю о них с целью оградить себя от обвинения в неточности.

Оно питается "отрицательной энтропией"

Именно в силу того, что организм избегает быстрого перехода в инертное состояние "равновесия", он и кажется столь загадочным: настолько загадочным, что с древнейших времен человеческая мысль допускала, будто в организме действует какая-то специальная, не физическая, сверхъестественная сила (ins viva, энтелехия); некоторые придерживаются, этого мнения и до сих пор.

Как же живой организм избегает перехода к равновесию? Ответ прост: благодаря еде, питью, дыханию и (в случае растений) ассимиляции. Это выражается специальным термином-метаболизм. Греческое слово рехafyaXkeiv означает - перемена или обмен. Обмен чего? Первоначально, без сомнения, подразумевался обмен веществ (например, по-немецки метаболизм - Stoffwechsel[38]) Но представляется нелепостью, чтобы существенным был именно обмен веществ. Любой атом азота, кислорода, серы и т.д. так же хорош, как любой другой того же рода. Что могло бы быть достигнуто их обменом? В прошлом некоторое время наше любопытство удовлетворяли утверждением, что мы питаемся энергией. В некоторых странах (я не помню, то ли в Германии, то ли в США, или в обеих) вы могли найти в ресторанах карточки-меню, указывающие в добавление к цене содержание энергии (калорийность) в каждом блюде. Нечего и говорить, что если понимать это буквально, это такая же нелепость. Ибо во взрослом организме содержание энергии так же постоянно, как и содержание материи. И так как каждая калория, конечно, имеет ту же ценность, что и любая другая, то нельзя понять, чему может помочь простой обмен этих калорий.

Что же тогда составляет то драгоценное нечто, содержащееся в нашей пище, что предохраняет нас от смерти? На это легко ответить. Каждый процесс, явление, событие - назовите это, как хотите, - короче говоря, все, что происходит в природе, означает увеличение энтропии в той части мира, где это происходит. Так и живой организм непрерывно увеличивает свою энтропию - или, говоря иначе, производит положительную энтропию и таким образом приближается к опасному состоянию максимальной энтропии, которое представляет собою смерть. Он может избегнуть этого состояния, то есть оставаться живым, только путем постоянного извлечения из окружающей его среды отрицательной энтропии, которая представляет собой нечто весьма положительное, как мы сейчас увидим. Отрицательная энтропия вот то, чем организм питается. Или, чтобы выразить это

менее парадоксально, существенно в метаболизме то, что организму удается освобождать себя от всей той энтропии, которую он вынужден производить,пока он жив.

Что такое энтропия?

Что такое энтропия? Разрешите сначала подчеркнуть, что это не туманное представление или идея, а измеримая физическая величина, совершенно такая же, как длина стержня, температура любой точки тела, скрытая теплота плавления данного кристалла или удельная теплоемкость любого данного вещества. При абсолютном нуле температуры (грубо - 273° С) энтропия любого вещества равна нулю. Если вы переводите вещество в любое другое состояние медленными, обратимыми, маленькими этапами (даже если при этом вещество изменит свою физическую или химическую природу или распадется на две или большее число частей различного физического или химического характера), то энтропия возрастает на величину, вычисляемую путем деления каждой малой порции тепла, затрачиваемой во время этой процедуры, на абсолютную температуру, при которой это тепло затрачено, - и путем суммирования всех этих малых величин. Например, когда вы расплавляете твердое тело, то энтропия возрастает на величину теплоты плавления, деленной на температуру при точке плавления. Вы видите из этого, что единица, которой измеряется энтропия, есть кал. /°С (совершенно так же, как калория есть единица тепла или сантиметр есть единица длины).

Статистическое значение энтропии

Я упомянул это техническое определение просто для того, чтобы освободить энтропию от той атмосферы туманной загадочности, которой ее часто окружают.' Гораздо более важна для нас связь энтропии со статистической концепцией упорядоченности "и неупорядоченности, связь, открытая исследованиями Больтцмана и Гиббса по статистической физике. Она также является точной количественной связью и выражается энтропия =klogD,где k - есть так называемая константа Больтцмана (=3*2883 *1024 калорий/° С), и D - количественная мера атомной неупорядоченности в рассматриваемом теле. Дать точное объяснение этой величины D в кратких и нетехнических терминах почти невозможно. Неупорядоченность, которую она выражает, частью состоит в тепловом движении, частью в том, что атомы и молекулы разного сорта смешиваются чисто случайно вместо того, чтобы быть полностью разделенными, как в недавно приведенном примере молекулы сахара и воды. Уравнение Больт цмана хорошо иллюстрируется этим примером. Постепенное "распространение" сахара во всей доступной воде увеличивает неупорядоченность D, и поэтому (поскольку логарифм D возрастает вместе с D) увеличивается и энтропия. Также совершенно ясно, что всякий приток тепла увеличивает интенсивность теплового движения, то есть, иначе говоря, увеличивает D и таким образом повышает энтропию; что это именно так и есть, особенно ясно, когда вы расплавляете кристалл, поскольку вы при этом разрушаете изящное и устойчивое расположение атомов или молекул и превращаете кристаллическую решетку в непрерывно меняющееся случайное распределение.

Изолированная система или система в однородных условиях (которые для наших рассуждений лучше включить как часть рассматриваемой системы) увеличивает свою энтропию и более или менее быстро приближается к инертному состоянию максимальной энтропии. Мы узнаем теперь в этом основном законе физики естественное стремление вещей приближаться к хаотическому состоянию (то же самое стремление, которое выявляется у книг в библиотеке или у стопок бумаг и рукописей на письменном столе), если мы не препятствуем этому. (Аналогом беспорядочному тепловому движению в данном случае служит наше пользование этими предметами без заботы о том, чтобы класть их назад на надлежащие места.)

Организация,поддерживаемая путем извлечения "упорядоченности" из окружающей среды

Как можно было бы выразить в терминах статистической теории ту удивительную способность живого организма, с помощью которой он задерживает переход к термодинамическому равновесию (смерть)? Мы выше сказали: "Он питается отрицательной энтропией", как бы привлекая на себя ее поток, чтобы компенсировать этим увеличение энтропии, производимое им в процессе жизни, и таким образом поддерживать себя на постоянном и достаточно низком уровне энтропии.

Если D есть мера неупорядоченности, то обратная величина 1/D может рассматриваться как прямая мера упорядоченности. Поскольку логарифм 1/D есть то же, что отрицательный логарифм D, мы можем написать уравнение Больтцмана таким образом:

- (энтропия) = k*log (1/D).

Теперь неуклюжее выражение "отрицательная энтропия" может быть заменено лучшим: энтропия, взятая с отрицательным знаком, есть сама по себе мера упорядоченности. Таким образом, средство, при помощи которого организм поддерживает себя постоянно на достаточно высоком уровне упорядоченности (= достаточно низкому уровню энтропии), в действительности состоит в непрерывном извлечении упорядоченности из окружающей его среды. Это заключение менее парадоксально, чем оно кажется на первый взгляд. Скорее его можно упрекнуть в тривиальности. В самом деле, в случае высших животных мы достаточно хорошо знаем тот вид упорядоченности, которым они питаются, а именно - крайне хорошо упорядоченное состояние материи в более или менее сложных органических соединениях, служащих им пищевыми веществами. После использования животные возвращают эти вещества в очень деградировавшей форме, однако не вполне деградировавшей, так как их еще могут употреблять растения. (Для растений собственным мощным источником "отрицательной энтропии" служит, конечно, солнечный свет.)

Основана ли жизнь на законах физики?

Si un hombre iiunca se contradico,
sera orque nunca dice nada.
Miguel de Unamuno[39].

В организме следует ожидать новых законов

В этой последней главе я хочу ясно показать, что все известное нам о структуре живого вещества заставляет ожидать, что деятельность живого вещества нельзя свести к обычным законам физики. И не потому, что имеется какая-нибудь "новая сила" или что-либо еще, управляющее поведением отдельных атомов внутри живого организма,но потому, что его структура отличается от всего изученного нами до сих пор в физической лаборатории. Грубо говоря, инженер, знакомый ранее только с тепловыми машинами, осмотрев электромотор, будет готов признать, что ему пока еще не понятны принципы, согласно которым мотор работает. Он найдет медь, знакомую ему в котлах, но использованную здесь в форме длинных-длинных проволок, скрученных в мотки; железо, знакомое ему в рычагах, брусьях и паровых цилиндрах, а здесь заполняющее середину обмоток из медной проволоки. Он придет к заключению, что это та же самая медь и то же самое железо, подчиняющиеся тем же самым законам природы, и будет в этом прав. Но одного различия в конструкции будет уже достаточно, чтобы он ожидал совершенно другого принципа работы. Он не станет подозревать, что электромотор приводится в движение духом, только потому, что его можно заставить вращаться без котла и пара простым поворотом выключателя.

Обзор положения в биологии

Развертывание событий в жизненном цикле организма обнаруживает удивительную регулярность и упорядоченность, не имеющие себе равных среди всего, с чем мы встречаемся в неодушевленной материи. Мы видим, что организм контролируется в высшей степени хорошо упорядоченной группой атомов, которая составляет только очень незначительную часть общей массы каждой клетки. Более того, на основании создавшейся у нас точки зрения на механизм мутаций мы приходим к заключению, что перемещение всего лишь немногих атомов внутри группы "управляющих атомов" зародышевой клетки достаточно для того, чтобы вызвать весьма определенное изменение наследственных признаков большого масштаба.

Это, вероятно, наиболее интересные факты из тех, которые наука открыла в наши дни.

Мы склонны признать их в конце концов не столь уже неприемлемыми. Удивительная способность организма концентрировать на себе "поток порядка", избегая таким образом перехода к атомному хаосу, - способность "пить упорядоченность" из подходящей среды, по-видимому, связана с присутствием "апериодических твердых тел", хромосомных молекул. Последние, без сомнения, представляют наивысшую степень упорядоченности среди известных нам ассоциаций атомов (более высокую, чем у обычных периодических кристаллов) в силу той индивидуальной роли каждого атома и каждого радикала, которую они здесь играют.

Говоря кратко, мы видим, что существующая упорядоченность проявляет способность поддерживать сама себя и производить упорядоченные явления. Это звучит достаточно убедительно, хотя, находя это убедительным, мы несомненно исходим из опыта социальных организаций и других явлений, опирающихся на активность организмов. Поэтому может показаться, что получается нечто, подобное порочному кругу.

Обзор положения в физике

Как бы то ни было, но следует снова и снова подчеркнуть, что для физика это положение дел кажется не только невероятным, но и чрезвычайно волнующим, поскольку оно не имеет прецедента. Вопреки обычным представлениям регулярное течение событий, управляемое законами физики, никогда не бывает следствием одной, хорошо упорядоченной группы атомов (молекулы), если, конечно, эта группа атомов не повторяется огромное число раз, как в периодическом кристалле или в жидкости, или, наконец, в газе, которые состоят из большого количества одинаковых молекул.

Даже когда химик имеет дело с очень сложной молекулой in vitro, он всегда встречается с огромным количеством одинаковых молекул. К ним приложимы его законы. Он может сказать вам, например, что через минуту после того, как начнется определенная реакция, половина всех молекул прореагирует, а после второй минуты то же произойдет с тремя четвертями молекул. Но будет ли определенная молекула - если предположить, что вы можете за ней проследить - находиться среди тех, которые прореагировали, или среди тех, которые остались нетронутыми, этого он не сумеет предсказать. Это вопрос чистой случайности.

И это не только теоретическое рассуждение. Мы вовсе не всегда неспособны наблюдать судьбу отдельной маленькой группы атомов или даже единичного атома. Иногда мы можем это сделать. Но всякий раз, как мы это делаем, мы встречаемся с полной неупорядоченностью, которая только в среднем из большого числа случаев приводит к закономерности. Мы разбирали уже пример этого в главе I, Броуновское движение малой частицы, взвешенной в жидкости, совершенно беспорядочно. Но если имеется много подобных частиц, они своим беспорядочным движением дают начало закономерному процессу диффузии.

Распад единичного радиоактивного атома поддается наблюдению (он посылает снаряд, который вызывает видимое мерцание на флуоресцирующем экране). Но если имеется единичный радиоактивный атом, то вероятный срок его жизни менее определенен, чем у здорового воробья. Действительно, - относительно этого срока можно сказать только, что все время, пока атом существует (а это может продолжаться тысячи лет), вероятность его распада в следующую секунду, велика она или мала, остается той же самой. Это очевидное отсутствие

индивидуальной определенности тем не менее дает в результате точный экспоненциальный закон распада большого количества радиоактивных атомов одного и того же вида.

Поразительный контраст

В биологии мы встречаемся с совершенно иным положением. Единичная группа атомов, существующая только в одном экземпляре, производит закономерные явления, чудесно настроенные одно в отношении другого и в отношении внешней среды, согласно чрезвычайно тонким законам. Я сказал, существующая только в одном экземпляре, ибо, в конце концов, мы имеем пример яйца и одноклеточного организма. Это верно, что на последующих стадиях у высших организмов эти экземпляры умножаются. Но в какой степени? Что-нибудь вроде 1014 у взрослого млекопитающего, как я себе представляю. Ну что же: это только одна миллионная того количества молекул, которое содержится в кубическом дюйме воздуха. Хотя сравнительно и объемистые, но вместе эти группы атомов образовали бы только крошечную каплю жидкости. И посмотрите, каким образом они распределяются. Каждая клетка дает приют лишь одной из них (или двум, если мы будем иметь в виду диплоидию). Поскольку мы знаем силу этого крошечного центрального аппарата в изолированной клетке, не напоминают ли они нам станции местного правительства, рассеянные по всему телу и с большой легкостью поддерживающие связь одна с другой благодаря общему для них всех шифру?

Это, конечно, фантастическое описание, может быть более подходящее поэту, чем ученому. Однако не нужно поэтического воображения, а только ясное и трезвое научное размышление, чтобы понять, что мы здесь встречаемся с явлениями, регулярное и закономерное развертывание которых определяется "механизмом", полностью отличающимся от "механизма вероятности" физики. Ибо это просто наблюдаемый факт, что в каждой клетке руководящее начало заключено в единичной атомной ассоциации, существующей только в одной копии (или иногда в двух), и такой же факт, что оно направляет события, служащие образцом упорядоченности. Найдем ли мы удивительным или весьма естественным, что маленькая, но высоко организованная группа атомов способна действовать таким образом, положение одинаково беспрецедентно. Оно не известно нигде за исключением живого вещества. Физик и химик, исследуя неодушевленную материю, никогда не встречали феноменов, которые им приходилось бы интерпретировать подобным образом. Такой случай еще не возникал, и поэтому теория не покрывает его - наша прекрасная статистическая теория, которой мы справедливо гордились, так как она

позволила нам заглянуть за кулисы и увидеть, что могущественный порядок точных физических законов возникает из атомной и молекулярной неупорядоченности; теория, открывшая, что наиболее важный, наиболее общий и всеохватывающий закон нарастания энтропии может быть понят без специального допущения для данного случая, ибо энтропия-это не что иное, как сама молекулярная неупорядоченность.

Два пути возникновения упорядоченности

Упорядоченность, наблюдаемая в развертывании жизненного процесса, возникает из иного источника. Оказывается, есть два различных "механизма", которые могут производить упорядоченные явления: "статистический механизм", создающий "порядок из беспорядка", и новый механизм, производящий "порядок из порядка". Для непредвзятого ума второй принцип кажется более простым, более вероятным. Без сомнения так это и есть. Именно поэтому физики были горды установлением первого принципа - "порядок из беспорядка", которому в действительности следует природа и который один дает объяснение огромному ряду природных явлений и, в первую очередь, их необратимости. Но мы не можем ожидать, чтобы "законы физики", выведенные из этого принципа, оказались достаточными для объяснения поведения живого вещества, наиболее удивительные особенности которого, видимо, в значительной степени основаны на принципе "порядок из порядка". Вы ведь не станете ожидать, что два совершенно различных механизма могут обусловить один и тот же тип закона, как не будете ожидать, что ваш дверной ключ обязательно сможет так же хорошо открывать и двери вашего соседа.

Нас не должны поэтому обескураживать трудности объяснения жизни с помощью обыкновенных законов физики. Ибо это именно то, чего следует ожидать, исходя из знания, достигнутого относительно структуры живого вещества. Мы должны ожидать, что в живом веществе преобладает новый тип физического закона. Или мы должны назвать его нефизическим, чтобы не сказать: сверхфизическим законом?

Новый принцип не чужд физике

Нет. Я не думаю этого. Новый принцип - это подлинно физический принцип; на мой взгляд он не что иное, как опять-таки принцип квантовой теории. Для объяснения этого мы должны пойти несколько дальше и ввести уточнение, чтобы не сказать улучшение, в наше прежнее утверждение, что все физические законы основаны на статистике.

Это утверждение, повторявшееся снова и снова, не могло не привести к противоречию. Ибо действительно имеются явления, отличительные черты которых явно основаны на принципе "порядок из порядка" и ничего, кажется, не имеют общего со статистикой или молекулярной неупорядоченностью.

Строение солнечной системы, движение планет поддерживается почти неограниченное время. Созвездие настоящего времени прямо связано с созвездием в любой момент из времен эпохи египетских пирамид; оно может быть прослежено в прошлом до этого времени и наоборот. Когда были рассчитаны сроки прежних затмений, то оказалось, что они находятся в полном согласии с историческими записями или даже в некоторых случаях послужили для исправления принятой хронологии. В этих вычислениях не было никакой статистики, они были основаны исключительно на ньютоновском законе всемирного тяготения.

Регулярное движение хороших часов или любого подобного механизма, очевидно, также не имеет ничего общего со статистикой. Короче говоря, все чисто механические явления, по-видимому, явно и прямо следуют принципу "порядок из порядка". И если мы говорим "механические", то этот термин надо понимать в широком смысле. Очень употребительный вид часов, как вы знаете, основан на регулярной передаче электрических импульсов с силовой станции.

Я помню интересную маленькую работу Макса Планка на тему "Динамический и статистический тип закона"[40]. В этой работе проводится точно такое же различие, какое мы здесь обозначили как "порядок из порядка" и "порядок из беспорядка". Целью этой работы было показать, как интересный статистический тип закона, контролирующий события большого масштаба, создается из "динамических" законов, которые, повидимому, управляют событиями малого масштаба - взаимодействием единичных атомов и молекул. Последний тип закона иллюстрируется механическими явлениями большого масштаба, как, например, движение планет, часов и т. д.

Таким образом оказывается, что "новый принцип", принцип "порядок из порядка", на который мы указали с большой торжественностью как на действительный ключ к пониманию жизни, совсем не нов для физики. Позиция Планка даже восстанавливает его приоритет. Мы, кажется, приближаемся к смехотворному заключению, будто ключ для понимания жизни заключается в том, что она основана на чистом механизме, на принципе "часового механизма" в том смысле, который придает этому выражению Планк. Это заключение не представляется нелепым и, на мой взгляд, не совсем ошибочно, хотя его и следует принимать "с большой щепотью соли".

Движение часов

Давайте тщательно проанализируем движение реальных часов. Это не чисто механический феномен. Чисто механические часы не нуждались бы ни в пружине, ни в заводе. Раз пущенные в ход, они двигались бы всегда. Реальные же часы без пружины останавливаются после немногих ударов маятника, их механическая энергия превращается в тепло. А это - безгранично сложный, атомный процесс. Общее представление о нем, которое складывается у физика, вынуждает признать, что обратный процесс также не вполне невозможен: часы без пружины могут неожиданно начать двигаться за счет затраты тепловой энергии своих собственных зубчатых колес и окружающей среды. В этом случае физик должен был бы сказать: часы испытывают исключительно интенсивный пароксизм броуновского движения. Мы видели в главе I (§ 7), что с весьма чувствительными крутильными весами (электрометр или гальванометр) такого рода явление происходит все время. В случае часов это бесконечно неправдоподобно.

Будем ли мы относить движение часов к динамическому или к статистическому типу закономерных явлений (употребляя выражения Планка), зависит от нашей точки зрения. Называя это движение динамическим явлением, мы обращаем внимание на регулярность движения, которая может быть обеспечена сравнительно слабой пружиной, преодолевающей малые нарушения теплового движения, так что мы можем пренебречь ими. Но если мы вспомним, что без пружины часы, вследствие трения, постепенно остановятся, то окажется, что этот процесс можно понять только как статистическое явление.

Как бы практически незначительно ни было трение и нагревание в часах, все же не может быть сомнения, что вторая точка зрения, которая не пренебрегает ими, более основательна, даже если мы имеем дело с регулярным движением часов, приводимых в действие пружиной. Ибо не следует думать, что движущий механизм действительно совершенно устраняет статистическую сторону процесса. Истинная физическая картина не исключает того, что даже правильно идущие часы могут внезапно обратить свое движение и, работая назад, завести свою собственную пружину за счет затраты тепла окружающей среды. Это событие "еще немного менее вероятно", чем "броуновский пароксизм" для часов, совсем не имеющих заводного механизма.

Часовой механизм в конечном счете оказывается статистическим

Давайте теперь рассмотрим создавшееся положение. "Простой" случай, который мы анализировали, служит примером многих других - по существу всех, избегающих на первый взгляд всеохватывающего принципа молекулярной статистики. Часы, сделанные из реальной физической материи (в противоположность воображаемым), не будут "истинным часовым механизмом". Элемент случайности может быть более или менее снижен; вероятность того, что часы неожиданно пойдут совершенно неправильно, может быть бесконечно малой, но в основе она всегда остается. Трение и тепловые влияния имеют место даже в движении небесных тел. Вращение земли постепенно замедляется приливным трением и вместе с этим замедлением луна постепенно отступает от земли, чего не случилось бы, если бы земля была совершенно твердым вращающимся шаром.

Тем не менее остается фактом, что "реальные часовые механизмы" ясно проявляют весьма выраженные черты "порядка из порядка", такого типа черты, которые возбудили у физика волнение, когда он встретился с ними в организме. Кажется вероятным, что оба случая в конце концов имеют нечто общее. Теперь остается рассмотреть, в чем это общее и в чем заключается то поразительное различие, которое делает случай организма в конечном счете новым и беспрецедентным.

Теорема Нернста

Когда же физическая система - любой вид ассоциации атомов - обнаруживает "динамический закон" (в смысле Планка) или "черты часового механизма"? Квантовая теория дает на этот вопрос краткий ответ, а именно - при абсолютном нуле температуры. При приближении к температуре нуль молекулярная неупорядоченность перестает влиять на физические явления. Это было, между прочим, открыто не теорией, а тщательным исследованием химических реакций в широких температурных границах и последующей экстраполяцией результатов на фактически недостижимую температуру абсолютного нуля. Это - знаменитая "тепловая теорема" Вальтера Нернста, которой иногда, и не без основания, присваивают громкое название "Третьего Закона Термодинамики" (первый - это принцип сохранения энергии, второй - принцип энтропии).

Квантовая теория дает рациональное основание эмпирическому закону Нернста и в то же время позволяет определить, как близко данная система должна подойти к абсолютному нулю, чтобы выявить приблизительно "динамическое" поведение. Какая же температура в каждом отдельном случае практически уже эквивалентна нулю?

Так вот, не следует думать, что это должна быть всегда очень низкая температура. Действительно, открытие Нернста было подсказано тем фактом, что даже при комнатной температуре энтропия играет удивительно незначительную роль во многих химических реакциях (напомню, что энтропия - это прямая мера молекулярной неупорядоченности, а именно - ее логарифм).

Маятниковые часы находятся, в сущности, при нулевой температуре

Как же относительно маятниковых часов? Для маятниковых часов комнатная температура практически эквивалентна нулю. Это - причина того, что они работают "динамически". Они будут продолжать работать, если их охлаждать (при условии, что удалены все следы смазки), но они не будут работать, если их нагревать выше комнатной температуры, ибо в конце концов они расплавятся.

Отношение между часовым механизмом и организмом

То, что будет сказано ниже, хотя и кажется весьма тривиальным, но, я думаю, попадает в главную точку. Часы способны функционировать "динамически", так как они построены из твердых тел, форма которых удерживается Гейтлер-Лондоновскими силами достаточно прочно, чтобы избежать нарушающего действия теплового движения при обычной температуре.

Теперь, я думаю, надо немного слов, чтобы сформулировать сходство между часовым механизмом и организмом. Оно просто и исключительно сводится к тому, что последний также построен вокруг твердого тела- апериодического кристалла, образующего наследственное вещество, не подверженное в основном воздействию беспорядочного теплового движения. Но, пожалуйста, не ставьте мне в вину, что я будто бы называю хромосомные нити "зубцами органической машины", по крайней мере не делайте этого без ссылки на те глубокие физические теории, на которых основано сходство.

Потому что, действительно, не нужно большого красноречия, чтобы напомнить основное различие между ними обоими и оправдать для биологического случая эпитеты - новый и беспрецедентный.

Наиболее поразительными отличиями являются: во-первых, своеобразное распределение зубцов в многоклеточном организме (я могу напомнить несколько поэтическое описание в § 62) и, во-вторых, тот факт, что отдельный зубец это не грубое человеческое изделие, но прекраснейший шедевр, когда-либо достигнутый по линии господней квантовой механики.

Эпилог. О детерминизме и свободе воли

В награду за труд по изложению чисто научной стороны нашей проблемы sine ira et studio[41] я прошу теперь разрешить мне высказать собственный, неизбежно субъективный взгляд на философское значение вопроса.

Из того, что было изложено выше, ясно, что протекающие в теле живого существа пространственно-временные процессы, которые соответствуют его мышлению, самосознанию или любой другой деятельности (даже если учесть их сложность и современное статистическое объяснение физико-химии), если не вполне строго детерминированы, то во всяком случае статистически детерминированы. Для физика я хочу подчеркнуть, что вопреки мнению некоторых других ученых квантовая неопределенность, по моему мнению, не имеет принципиального значения для биологических процессов. Она может только повышать роль случайности в таких явлениях, как мейоз, естественные и искусственно вызванные х-лучами мутации и т. д., что вполне понятно и достаточно хорошо известно.

Для целей дальнейшего обсуждения интересующей меня проблемы разрешите считать это доказанным. Так, по моему убеждению, поступил бы каждый непредубежденный биолог, если бы, как это нередко бывает, ему не было неприятно утверждение, что "сам он в сущности только чистый механизм". Это неприятное чувство возникает потому, что принято думать, будто такое представление находится в противоречии со свободой воли, существование которой подтверждается прямым самонаблюдением.

Но непосредственные восприятия, какими бы различными и несравнимыми они ни были, сами по себе не могут логически противоречить друг другу.

Поэтому посмотрим, не сможем ли мы получить правильное и непротиворечивое заключение, исходя из следующих двух предпосылок:

1. Мое тело функционирует как чистый механизм, подчиняясь всеобщим законам природы.

2. Однако из неопровержимого, непосредственного опыта я знаю, что я управляю действиями своего тела и предвижу результаты этих действий. Эти результаты могут иметь огромное значение в определении моей судьбы, и в таком случае я чувствую и сознательно беру на себя полную ответственность за

свои действия.

Мне думается, что из этих двух предпосылок можно вывести только одно заключение, а именно, что "я", взятое в самом широком значении этого слова - то есть каждый сознательный разум, когда-либо говоривший или чувствовавший "я", - представляет собой не что иное, как субъект, могущий управлять "движением атомов" согласно законам природы.

Определенные представления, которые у других народов имели когда-то более широкое значение (а у некоторых сохраняют его и поныне), в современной культурной среде (Kulturkreis) подверглись ограничению и специализации. Поэтому у нас может показаться неслыханной дерзостью прямая формулировка того вывода, к которому мы пришли выше. Для христианина слова "значит, я - всемогущий бог" звучат и богохульно, и безумно. Но я прошу читателя на время отказаться от этих привходящих соображений и рассмотреть по существу, не является ли приведенное нами заключение наибольшим из того, что может дать биолог, пытающийся одним ударом доказать и существование бога и бессмертие души.

Само по себе это представление не ново. Насколько мне известно, наиболее ранние упоминания о нем насчитывают уже по крайней мере 2500 лет, если не больше. Начиная с древних великих Упанишад[42], представление о том, что Атман = Брахман (то есть, личная индивидуальная душа равна вездесущей, всепостигающей, вечной душе), не только не рассматривалось в индийской философии как богохульное, но считалось квинтэссенцией глубочайшего прозрения в то, что происходит в мире. Общим стремлением всех ученых Веданты[43] было не только научиться произносить устами, но и действительно воспринять своим умом эту величайшую из всех мыслей. О том же, часто независимо один от другого, но в полном согласии между собою (что до некоторой степени сходно с поведением частиц идеального газа), говорят и мистики на протяжении многих столетий, когда каждый из них описывает личный опыт своей жизни в выражениях, которые могут быть кратко переданы словами: "Deus factus sum" (я стал богом).

Для западной философии эта мысль оставалась, однако, чуждой, несмотря на ее проповедь Шопенгауэром и другими, защищавшими ее, и несмотря на пример тех истинных любовников, которые, глядя друг другу в глаза, чувствуют, что их мысль и их радость не только сходны или идентичны, но и численно едины. Однако, как правило, любовники слишком поглощены своими эмоциями, чтобы снизойти до ясного рассуждения, и в этом отношении они очень напоминают

мистиков.

Разрешите мне сделать немногие дальнейшие пояснения. Сознание никогда не переживается как множественное, а всегда только как единичное. Даже в тех патологических случаях, когда например, имеется расщепление сознания или раздвоение личности, эти две личности чередуются одна с другой, но никогда не проявляются вместе. Во сне мы, правда, иногда исполняем несколько ролей в одно и то же время, но исполняем по-разному: мы воплощаемся преимущественно только в одну из них, и в этой роли мы и действуем и говорим прямо; в то же время часто бывает, что мы страстно ждем ответа или отклика другого действующего лица, не зная того, что его действиями и речью управляем мы сами.

Как же вообще могло возникнуть представление о множественности сознаний (против которого так настойчиво выступают авторы Упанишад)? Сознание интимно связано и зависит от физического состояния определенной части материи - от тела (вспомните различные душевные изменения, происходящие во время развития организма, например, при созревании, старении, старческом слабоумии и т.д., или наступающие под действием лихорадки, отравления, наркоза, повреждения мозга и пр.). Но таких человеческих тел имеется множество. Если исходить из этого, представление о множественности сознаний или интеллектов кажется весьма убедительной гипотезой. Вероятно, все простые, непритязательные люди, так же как и огромное большинство западных философов, считают ее верной.

Принятие этой гипотезы почти неминуемо приводит в дальнейшем к признанию душ, столь же многочисленных, как и тела, и затем к вопросу, так же ли смертны эти души, как тела, или, наоборот, они бессмертны и могут существовать совершенно самостоятельно. Первая мысль производит на всякого человека крайне неприятное впечатление, тогда как последняя откровенно забывает, игнорирует и даже вовсе отрицает именно те предпосылки, на которых основана сама гипотеза множественности. Иногда ставились даже еще более нелепые вопросы, например - есть ли душа у животных? Задавался даже вопрос, имеют ли душу женщины или она свойственна только мужчинам? Подобные направления в развитии гипотезы множественности сознаний носили, правда, характер явно неудачных попыток. Однако они все же должны внушить нам известные сомнения в правильности этой точки зрения, которая свойственна всем официальным западным верованиям. Но не склоняемся ли мы к еще большей нелепости, если, отбрасывая

чрезмерные суеверия таких верований, мы сохраняем их наивную идею множественности душ, "исправляя" ее утверждением, что эти души тленны и уничтожаются вместе с телами?

Единственное, что нам остается, - это придерживаться данных, полученных из непосредственного опыта, а именно, что сознание представляет собой явление, по самому своему существу единичное, для которого множественность не известна; что существует только единичное, а то, что кажется множественностью, является лишь рядом различных аспектов этого единичного, которые нам создает иллюзия (индийская Майя). Такая же иллюзия возникает в галлерее зеркал, и в силу этой иллюзии Гауризанкар и Эверест оказались одним и тем же пиком, только рассматриваемым из разных долин[44].

Конечно, различные мудреные россказни о призраках-иллюзиях, прочно закрепились в наших умах и препятствуют принятию простого истинного понимания действительности. Например, утверждали, что если за моим окном стоит дерево и я гляжу на него, то в действительности я все же не вижу этого дерева. Благодаря некоторому "хитроумному" механизму восприятия, у которого исследованы лишь первые, относительно простые ступени, реальное дерево вызывает свое отображение в моем сознании, и именно только это отображение дерева я и узнаю. Если вы встанете рядом со мной и тоже посмотрите на это дерево, то оно вызовет свое отображение и в вашей душе. И хотя я вижу свое дерево, а вы - свое (замечательно похожее на мое), мы все же не знаем, что представляет собой дерево само по себе. За такое экстравагантное построение ответственен Кант. В той системе идей, которая рассматривает сознание как singulare tantum[45], эта экстравагантность легко заменяется утверждением, что, очевидно, имеется только одно дерево, а все рассуждения относительно отображений представляют собой только историю с призраками.

Однако у каждого из нас есть неоспоримое представление, что общая сумма его собственных переживаний и воспоминаний образует некоторую единицу, ясно отличающуюся от такой же единицы любого другого человека. Он ссылается на нее, как на свое "я". Что же такое это "я"?

Если вы будете пристально анализировать это "я", то я думаю, вы придете к заключению, что оно представляет собой все же нечто большее, чем простой набор отдельных восприятий и воспоминаний, и служит именно той канвой, на которой они накопляются. При внимательном самонаблюдении вы неминуемо придете к выводу, что то, что вы реально принимали за "я", - это и есть основа, на которой собираются все эти переживания. Вы

можете уехать в другую страну, перестать видеть всех своих друзей, можете почти забыть их; вы приобретете новых друзей, будете интенсивно участвовать в общей жизни с ними, как когда-то со старыми. Все менее и менее важным будет для вас то, что вы, живя новой жизнью, продолжаете еще вспоминать старую. Вы, может быть, скажете о своем прошлом в третьем лице: "юноша, которым я был". Герой читаемого вами романа может стать ближе вашему сердцу и значительно более живым и знакомым, чем этот юноша. Однако здесь не было промежуточного перелома, не было смерти. И даже если искусный гипнотизер сумеет совсем вычеркнуть из вашего сознания все ваши ранние воспоминания, то и тогда вы не будете считать, что он убил вас. Ни в каком случае здесь нет потери личного существования, которую надо оплакивать.

И никогда не будет!

Послесловие переводчика

Книга Эрвина Шредингера "Что такое жизнь с точки зрения физики?" впервые вышла в Англии во время войны в 1944 г., после чего выдержала без изменений несколько изданий и вызвала оживленные отклики в зарубежной научной и широкой прессе. Один восторженный рецензент[46] высказал даже мнение, что она создала в науке целую эпоху, и сравнил ее в этом отношении с такими трудами, как работы зачинателя статистической термодинамики Вилларда Гиббса и основателя научной генетики Грегора Менделя.

С такой высокой оценкой книги трудно согласиться, и несомненно, что она была вызвана отчасти как несколько сенсационным заглавием книги, так и широкою известностью автора - одного из крупнейших ученых нашего времени. Чтобы читателям, не специалистам в области современной физики, было ясно, кто такой автор этой книги, укажем, что, перечисляя творения, эквивалентные "Началам" Исаака Ньютона, академик С. И. Вавилов наряду с теорией атомов и электронов и с теорией относительности А. Эйнштейна указывает также на квантовую (волновую) механику, создателем которой был Шредингер[47]. В знак признания его выдающихся трудов Э. Шредингер был избран в 1934 г. почетным членом Академии наук СССР.

Поставленный в заглавии вопрос - "Что такое жизнь?", а также философский эпилог- "О детерминизме и свободе воли" - также не могли не привлечь внимания научных и вообще широких читательских кругов.

Однако книга Шредингера имеет большое значение и по существу. В чем же состоит ее ценность?

Шредингер в своей книге, в форме увлекательной и доступной как для физика, так и для биолога, открывает читателю новое, быстро развивающееся в науке направление, в значительной мере объединяющее методы физики и биологии, но бывшее до сих пор доступным лишь весьма узкому кругу лиц, располагающих специальной литературой.

Все более глубокое проникновение в строение живой клетки потребовало в наше время привлечения ряда методов и понятий современной физики. Это породило "настоящую" биофизику, аналогичную возникшей ранее биохимии, сделавшей уже большой вклад в развитие наших знаний о жизни. Напротив, применение физических методов (в первую очередь оптических, рентгеновских и пр.) до сих пор играло почти исключительно подсобную роль, помогая только обнаружить некоторые

биологические факты без соответствующего физического и общебиологического их истолкования. Это была физика для биологии, но не физика в биологии. В этом отношении биофизика в своей значительной части была глубоко отлична от биохимии, которая не ограничивалась введением новых методов, но давно перешла к анализу существа самых сокровенных химических превращений, протекающих внутри организма. Подобного углубления в сущность жизненных явлений биофизика достигла только в небольшой степени (например, в изучении электрофизиологических процессов, митогенетического излучения и т. п.), в силу чего она по большей части сохраняла положение подсобной науки, хотя и способствующей раскрытию тех или иных закономерностей, но не играющей вполне самостоятельной роли в деле познания жизненного феномена.

И только в наши дни физика вступила в область биологии с целью раскрытия тех низших уровней в организации живой материи, понимание которых является необходимой предпосылкой будущего, более полного и глубокого представления о жизни вообще.

Книга Шредингера представляет собой, строго говоря, первые связные результаты этого направления, куда несомненно будет внесено еще много поправок, но которые в основном намечают определенные очертания нового научного здания "настоящей" биофизики .

Если бы книга Шредингера ограничивалась одним только изложением приведенного, то и этого было бы достаточно для признания ее значения. Но Шредингер вносит в это новое направление науки о жизни большой личный вклад, что в значительной степени оправдывает те восторженные оценки, которые его книга получила в заграничной научной прессе.

Наряду со многими, более частными соображениями Шредингер выдвигает чрезвычайно широкую и плодотворную мысль. Он намечает связь двух биологических "загадок", а именно: вопроса о характере наследственных структур и, казалось бы, столь далекого от него вопроса об отношении организмов ко второму закону термодинамики. Последний, хотя и не "отменяется" для живых существ, но в значительной степени ими "обходится". Шредингер показывает, что важнейшим условием этого (если не причиной) служит особая специфическая структура центрального аппарата клетки - хромосом. Хромосомы по своему строению способны, как "механическая" (в противоположность "термодинамической") система необычайной сложности, непосредственно поддерживать закономерное течение многих биологических процессов, обеспечивая минимальные

размеры "регулирующего аппарата" клетки.

Все это делает книгу Шредингера весьма ценной, несмотря на значительные ее недостатки, на которых мы остановимся ниже. Именно эта положительная сторона небольшой книги Шредингера и привлекла к себе внимание ряда крупнейших ученых - Холдэна, Меллера и Дельбрюка, посвятивших ей большие рецензии. Будет полезно вкратце познакомить читателя с этими рецензиями.

В своем отзыве о книге Шредингера крупнейший английский биолог и прогрессивный общественный деятель проф. Дж. Б. С. Хол-дэн[48] дает ей весьма высокую оценку; в то же время он делает и ряд критических замечаний. Прежде всего он справедливо отмечает, что принимаемый Шредингером взгляд на хромосому как на гигантскую молекулу ("апериодический кристалл" Шредингера) был впервые выдвинут советским биологом проф. Н. К. Кольцовым, а не Дельбрюком, с именем которого Шредингер связывает эту концепцию.

Переходя к существу вопроса, Холдэн считает, что если рассматривать ген как молекулу, обладающую свойством катализатора, то, вопреки мнению Шредингера, даже к единичному гену вполне применимы принципы статистической механики. Отдельная молекула катализатора может в благоприятных условиях превращать более чем 100 тысяч молекул субстрата в секунду, а это - цифры, вполне допускающие статистический подход при исследовании. В целом Холдэн полагает, что хотя представления Дельбрюка и очень полно отвечают известным фактам, они, как это неоднократно наблюдалось в квантовой механике, должны сильно измениться. Он ссылается на неопубликованную работу Ли и Котчесайда (представленную английскому генетическому обществу), в которой авторы находят, что большинство летальных мутаций, вызываемых облучением сперматозоидов Drosophila, является следствием разрыва хромосом с последующим их восстановлением, а, например у Tradescaniia, такой разрыв требует около 17 ионизации на хроматиду. С другой стороны, Фаберже и Биль обнаружили, что большая частота мутирования одного очень неустойчивого гена заметно понижается при высокой температуре. "Возможно,-заключает Холдэн,- что в хромосомах происходят более сложные явления, чем можно себе представить даже на основании принципов волновой механики".

Отметив, что целого ряда биологических проблем Шредингер не поднимает вовсе, Холдэн указывает в частности на проблему регуляции нарушений в организме, которую некоторые биологи находят невозможным объяснить материалистически, и

высказывает надежду, что в дальнейшем Шредингер займется этими вопросами.

Заканчивая рецензию серьезной критикой философских высказываний Шредингера (о чем скажем ниже), Холдэн в целом все же дает высокую оценку книге, которую, как он говорит еще в начале, необходимо прочитать каждому генетику и которая своей постановкой вопроса об использовании организмом отрицательной энтропии может обогатить и физиолога.

Сходные мысли по поводу книги Шредингера высказывает известный американский генетик Г. Дж. Меллер[49]. По его мнению, к весьма важным особенностям живой материи, рассмотренным в книге Шредингера, следует добавить еще одно более глубокое и не затронутое автором основное свойство гена - его способность размножаться, удваиваться. Способность эта лежит в основе таких кардинальных биологических явлений, как рост, размножение и, наконец, эволюция живых существ.

Однако будет большим упрощением рассматривать эту способность гена как простой автокатализ, как это считал, например, Троланд. Ген способен к удвоению и сохраняет эту способность и после мутирования, то есть даже принявши иную форму и проявляя совершенно новые свойства в своем влиянии на развитие организма. Ни у одного автокатализатора такая способность пока неизвестна. Любые гены и их мутации могут формировать органический субстрат в новые, подобные им гены. Именно это обеспечивает самую возможность эволюции, путем накопления и размножения мутаций, испытываемых генами. С этой точки зрения гораздо менее важным для понимания существа жизни является тот факт, что мутации - это именно квантовые скачки, ибо "организация" ("порядок" по Шредингеру) в специфически биологическом смысле - это в первую очередь результат удвоения генов и отбора. Биологическая "организация" отнюдь не так сильно связана с накоплением того, что биологи называют потенциальной энергией ("отрицательная энтропия" Шредингера).

Основная наблюдающаяся тенденция в развитии живой материи, по мнению Меллера,- обеспечение максимальной безопасности и широкое распространение своего типа организации. Это часто достигается такими качественными путями, которые непосредственно не увеличивают "питания отрицательной энтропией", но в дальнейшем создают огромные возможности для утилизации внешней энергии. Таково, например, развитие интеллекта у физически слабого существа. Здесь контроль над энергией в интересах системы важнее, чем увеличение содержания энергии в самой системе.

Далее рецензент подвергает резкой критике философский эпилог книжки.

В целом Меллер считает, что, несмотря на неполноту и некоторые несущественные недостатки, книга Шредингера весьма ценна тем, что помогает разрешить некоторые проблемы, интересующие вообще всякого ученого.

По мнению Макса Дельбрюка, высказанному в его рецензии[50], книга Шредингера не решает вопроса, стоящего в ее заглавии - "Что такое жизнь?". Задав вопрос, как могут физика и химия объяснить процессы в живом организме, протекающие в пространстве и времени, автор разбирает другой, несомненно важный, но гораздо менее существенный вопрос - могут ли физика и химия объяснить явления, протекающие в организме. Тем не менее, эта книга представляет собой как бы фокус, в котором сходятся интересы физиков и биологов.

"Читателям, не знакомым со специальными высказываниями Бора[51], - говорит Дельбрюк, - может показаться, что физическая природа процессов внутри живой клетки разумеется сама собой, и им трудно оценить значение задачи, стоящей в начале книги перед "наивным физиком". Дельбрюк считает, что обсуждение Шредингером типов законов природы ("статистических" и "динамических") может оказать "проясняющее влияние на биологическое мышление".

Резюмируя приведенные отзывы, следует сказать, что все рецензии подчеркивают большое значение книги Шредингера. И действительно, эта книга, как уже говорилось, развивает новое и чрезвычайно важное направление в науке, объединяющее физику и биологию и имеющее широкие перспективы в дальнейшем. Эта попытка синтеза физики и биологии в разрешении основной проблемы жизни тем более интересна, что она окрашена оригинальными, пусть неизбежно субъективными, представлениями такого крупнейшего современного ученого, как Шредингер. Вопрос об отношении живых организмов к принципу энтропии получил в книге Шредингера новое освещение, которое, вероятно, даст дальнейший толчок к обсуждению этого вопроса. Об этом говорит, например, недавняя работа Батлера[52], посвященная экспериментальному изучению второго закона термодинамики в применении к живым организмам.

Шредингер своей обобщающей попыткой сделал большой шаг к введению в обиход биологии тех точных теоретических методов, которые давно свойственны физике, но (если не считать статистических методов обработки материала) только эпизодически и по большей части лишь в специальных работах пробивают себе дорогу в науке о жизни. Особенно следует

подчеркнуть, что, несмотря на всю свою механистическую методологию, Шредингер - ив этом несомненная ценность его книги - приходит, как к центральному представлению, к диалектической мысл о специфическом, качественном отличии живого от неживого, хотя и ограничивает эту специфичность только пределами физической организации живого.

Несомненно, заглавие книги обещает больше, чем может дать автор. Проблема жизни в целом неизмеримо шире и глубже проблем, затронутых Шредингером в его книге. Шредингер рассматривает лишь некоторые из основных вопросов организации живой клетки, но отнюдь не всю проблему жизни во всей ее сложности. Однако он развивает наши представления о сущности жизни глубже, и если формально книга не дает того, что обещано в заглавии, все же по существу вряд ли могут быть оправданы те претензии, которые предъявила ей критика, требуя от автора объяснения таких явлений, как удвоение генов, регуляция физиологических процессов и т. д. Здесь уместно вспомнить слова К. А. Тимирязева, где он ставит в заслугу Пастеру то, что он умел поднять вопрос, стоящий в науке на очереди, и разрешал именно этот, а не какой-либо другой, не менее важный вопрос, который, однако, может быть решен только на следующем этапе исследования, в частности, после предварительного изучения первого вопроса[53].

Мы не будем останавливаться здесь на отдельных замечаниях, хотя некоторые из них (как, например, замечание Холдэна о возможности статистического подхода к единичному гену) порождены, повидимому, каким-то недоразумением. Гораздо интереснее рассмотреть философские и, в частности, гносеологические взгляды, которые Шредингер высказал в эпилоге.

Как крупный ученый, Шредингер в научном исследовании занял ясные материалистические позиции. Он специально подчеркнул, что не только не мыслит никаких "сверхестественных", нефизических сил в организме, но и не пытается замаскировать их в физическую одежду "квантовой недетерминированности" (к чему, повидимому, склонны некоторые физики, например Иордан и др.). Тем более отчетливо выступает слабость Шредингера, когда он касается общефилософских вопросов.

Трудно привести более наглядный пример в области биологии, на котором так блестяще и рельефно подтверждается правильность извести: го высказывания В. И. Ленина: "Ни единому из этих профессоров, способных давать самые ценные работы в специальных областях химии, истории, физики, нельзя

верить ни в едином слове, раз речь заходит о философии". (Ленин, Соч. т. XIII, стр. 280.)

И действительно, ставя в своей книге центральной проблемой вопрос о специфичности живой материи, Шредингер не только в конкретном научном анализе, но и в самой постановке вопроса ограничивает его исключительно уровнем примитивной физической организации, чем отчасти и вызвана критика его книги Холдэном и Меллером. Кажется, что именно с этой ограниченностью Шредингера полемизировал Ф. Энгельс, когда писал: "Мы несомненно "сведем" когда-нибудь экспериментальным образом мышление к молекулярным и химическим движениям в мозгу, но исчерпывается ли этим сущность мышления?" ("Диалектика природы".)

Однако, если в научном исследовании этот методологический примитивизм Шредингера сказался только в ограниченной постановке вопроса, то в своих чисто философских взглядах он выступает уже как прямой идеалист.

Обсуждая "модель Дельбрюка", Шредингер заявляет, что если бы она оказалась несостоятельной, то надо было бы вообще прекратить дальнейшие попытки познать сущность процессов, протекающих в живой клетке. Холдэн в своей рецензии отвечает правильным, указанием на очень близкий Шредингеру пример, когда, казалось бы, в столь совершенную картину атома, предложенную Бором, позднейшее развитие физики внесло существенные изменения.

Современное состояние теоретической физики, а равно достижения в области изучения строения вещества, всецело подтверждают прозорливую ленинскую мысль о приближении познания к абсолютной истине через ряд относительных истин и начисто опровергают данное утверждение Шредингера.

Совершенно идеалистично также высказывание Шредингера, когда он говорит, что "загадка" психофизического параллелизма неразрешима для человеческого ума (§ 5), так же как, по его мнению, не могут быть поняты и пути самого познания мира этим умом (§ 19). Здесь идеалист Шредингер выступает как типичный агностик.

Но с исключительной обнаженностью этот метафизический разрыв между наукой и субъективной философией Шредингера сказался в его небольшом эпилоге "О детерминизме и свободе воли", где на нескольких страницах он пытается ответить на некоторые основные вопросы философии, заимствуя их решение из индусских Упанишад, философии Шопенгауэра и прочих мистико-идеалистических философских систем. Шредингер и сам сознает этот разрыв между своей философией и наукой. "В

награду за труд по изложению чисто научной стороны нашей проблемы sine ira et studio я прошу теперь разрешить мне высказать собственный, неизбежно субъективный взгляд на философское значение вопроса" (стр. 121), пишет он. Причина этого разрыва заключается в том, что крупный ученый, вскрывающий объективные закономерности природы, Шредингер в своем методологическом отношении к науке остается неисправимым идеалистом, а в общем умонастроении - типичным сыном того общественного строя и класса, к которому он принадлежит. Философский идеализм Шредингера, проистекающий из его механистического метода, не способен дать правильные ответы на поднятые им философские вопросы.

Шредингер утверждает, что одно индивидуальное сознание как таковое недоступно другому индивидуальному сознанию (стр. 124). Из этого он делает вывод, что сознание - вообще единичное явление и, значит, наличие "многих сознаний" - иллюзия. Подобное заключение естественно приводит Шредингера к конечному выводу всей его идеалистической философии о непознаваемости мира вообще.

Эта старая агностическая басня уже давно была блестяще разоблачена Лениным как раз на примере физических наук в его классическом труде "Материализм и эмпириокритицизм". Остроумное возражение против этого основного положения Шредингера приводит также Холдэн. Он говорит, что у физика нет возможности провести различие между двумя электронами водородной молекулы. Они так же лишены индивидуальных черт, как и "факт сознания". Тем не менее, электронов все-таки два, а не один, Но то, что не смущает Шредингера в близкой ему физике, становится неразрешимым для него в области философии. По этой же причине столь же неразрешимыми являются для Шредингера и прочие философские вопросы, поднятые им в эпилоге. Он пишет, что "непосредственные восприятия, какими бы различными и несравнимыми они ни были, сами по себе не могут логически противоречить друг другу. Поэтому посмотрим, не сможем ли мы получить правильное и непротиворечивое заключение, исходя из следующих двух предпосылок" (стр. 122). Что же это за "предпосылки" и о каких "непосредственных восприятиях", которые "не могут логически противоречить друг другу", идет речь?

В самом деле, непосредственные восприятия не могут противоречить друг другу: ощущение боли в руке - ощущению горечи на языке, или образ человека на экране кино - ощущению плоской стенки, полученному при ощупывании экрана рукой.

Но Шредингер противополагает друг другу вовсе не два

непосредственных восприятия, а совершенно несравнимые вещи. С одной стороны, он берет научный вывод, сделанный на основе бесчисленного количества фактов и свидетельствующий о том, что человеческий организм в своих отправлениях полностью подчиняется законам природы, который он механистически формулирует так: "Мое тело функционирует как чистый механизм..." (стр. 122). С другой стороны, он выставляет субъективное убеждение, что свободная воля, сознание человека, господствует над материальными закономерностями тела. "Однако из неопровержимого (? Пер.) опыта я знаю, что я управляю действиями своего тела..." (там же). Но если два восприятия не могут противоречить друг другу, то научное объяснение какого-либо явления очень часто противоречит субъективному убеждению, основанному на непроверенном, критически не анализированном опыте повседневной жизни. Так, оптическое объяснение эффектов кино, конечно, противоречит нашему непосредственному впечатлению, что на экране движутся действительно живые люди.

Но из этого, разумеется, не следует, что сознание независимо от материи и "господствует" над ней, как утверждает Э. Шредингер, который не скрывает своей прямой философской тенденциозности и, аргументируя свои положения, стремится не больше, не меньше, как "доказать одновременно и существование бога и бессмертие души" (стр. 123).

Более чем очевидно, что во всем этом своем рассуждении Шредингер допускает элементарную логическую ошибку, erorr fundamentalis - ложное основное положение, в результате которой он доказывает не то, что требуется доказать, а нечто совсем иное, но внешне сходное. Его силлогизм порочен, ибо научно обоснованный вывод, вытекающий из познания объективных закономерностей, он сопоставляет с субъективным мнением, лишенным какого бы то ни было научного значения.

Та внешне логическая, но по существу порочная и беспомощная аргументация, к которой он прибегает для доказательства основного тезиса своего эпилога: "значит, я - всемогущий бог", свидетельствует о глубочайшем духовном кризисе, в котором пребывает современная буржуазная философия науки.

Полный философский обскурантизм Шредингера очевиден и не вызывает никакого сомнения.

Если верно, что вступление к книге часто пишется после основного труда, то не менее справедливо и то, что выводы часто намечаются раньше, чем аргументация.

Это произошло и со Шредингером. Его выводы отражают

идеологию уходящего в прошлое классово-капиталистического общества, в котором на смену относительно прогрессивному механистическому материализму эпохи раннего капитализма пришли различные, все более реакционные формы философии, вплоть до различных гносеологических систем идеалистического характера, вроде Шопенгауэра и др. У них-то Шредингер и заимствует свои общие философские концепции. Оставаясь в своей специальной области крупнейшим исследователем, Шредингер в области философии довольствуется обывательскими представлениями, "вздорной побасенкой о свободе воли" (Ленин, Соч., т. I, стр. 77). В результате возникает своеобразная "кривая" логика, сопоставляющая научный факт с субъективным ощущением, которая и приводит его к выводу, что ему удается "доказать ... существование бога и бессмертие души".

В этом основной недочет всей логической аргументации Шредингера, которая, как карточный домик, распадается от малейшего прикосновения диалектической критики.

Философское выступление Шредингера получило чрезвычайно резкую отповедь в упоминавшейся рецензии крупнейшего американского генетика Меллера, расценившего его как "старомодный мистицизм" и указавшего, что "биологи шокированы тем, что они оказываются свидетелями этих неразумных мозговых упражнений и измышлений по общим вопросам психологии и социологии". Он призывает биологов в ответ на философское выступление Шредингера "сверкнуть своим красным предостерегающим сигналом". "Надо надеяться, однако, - пишет Меллер, - что несчастливое откровение внутреннего "я" этого физика не помешает серьезно отнестись к достаточно здоровому изложению в основной части книги и что все более полезное сближение между физикой, химией и генетическими основаниями биологии стало, наконец, на твердый путь".

Несомненно, рецензент здесь вполне прав, и было бы большой наивностью пытаться связать эти две столь несоединимые линии: Шредингера-ученого и Шредингера-философа. Как в свое время спиритические "опыты" Уоллеса и Крукса, вызвавшие заслуженную отповедь Энгельса, нисколько не уменьшили высокой оценки их чисто научных исследований, а монадология Лейбница не помешала его великим заслугам в развитии нового математического, мышления, так и в данном случае субъективные философские взгляды крупного физика не должны мешать правильной оценке объективного вклада, сделанного им в науку.

Советская интеллигенция, воспитанная на трудах классиков научного коммунизма, идеологически достаточно созрела для

того, чтобы критически отнестись к подобному смешению точной науки и идеалистической философии.

Следуя заветам В. И. Ленина, она достаточно устойчива в отношении всяких идеалистических измышлений, независимо от того, что они высказываются крупным авторитетом в специальной области, она хорошо понимает источники и причины подобного явления и сумеет поэтому диференцированно оценить труды зарубежных ученых, усвоить и переработать те достижения, которых они добились в деле исследования и постижения реального материального мира. Она сумеет отделить все то передовое и новаторское, что имеется в книге Шредингера, от его идейно-философского обскурантизма, который столь характерен для многих современных зарубежных ученых.

А. Малиновский

notes

Примечания

1

"Благородство обязывает" (франц.). В данном случае означает, что честь носить звание ученого обязывает не нарушать взятых на себя обязательств - судить как настоящему ученому лишь с полным знанием дела. (Прим. перев.)

2

В оригинале книги многочисленные подзаголовки разделов даны среди текста, что часто нарушает подзаголовки вынесены на поля. (Прим. перев.)

3

Мыслю, значит существую. - Декарт.

Это утверждение может представиться несколько чересчур общим. Обсуждение должно быть отложено до конца этой книги, §§ 65 и 66.

Эта точка зрения была подчеркнута в двух наиболее вдохновенных работах Ф. Г. Д оннана. Scientia, v. 24, № 78, p. 10, 1918 (La science physice-chimique decrit-elle facon adequate les phenomenes biologiques ?); Smithsonian Report far 1929, p. 309(The mystery of life).

Вы бы, конечно, не нашли точно 100 (даже, если бы это был идеально точный результат вычислении). Вы могли бы найти 88 или 95, или 107, или 112, но практически невероятно, чтобы вы нашли такие числа, как 50 или как 150. "Отклонение", или "флюктуация", ожидается порядка корня квадратного из 100, т. е. 10. Статистически это выражают, говоря, что вы обычно найдете 100 ± 10. Этим замечанием в данный момент можно пренебречь, но мы к нему обратимся позже, как к примеру статистического закона.

7

Согласно современной точке зрения атом не имеет отчетливых границ, так что "размер" атома не является хорошо очерченным понятием. Мы можем заменить его расстояниями между центрами атомов в твердых или жидких телах, но, конечно, не в газообразных, где эти расстояния при нормальном давлении и температуре, грубо говоря, в 10 раз больше.

8

Шерстяная материя. (Прим. перев.)

Газ выбран потому, что он проще, чем твердое тело или жидкость; факт, что намагничивание в этом случае крайне слабо, не нарушает теоретических заключений.

А именно, концентрация в любой данной точке увеличивается (или уменьшаетсясо скоростью, пропорциональной сравнительному избытку (или недостаткуконцентрации в ее бесконечно малом окружении. Закон тепловой передачи имеет, между прочим, точно ту же форму, если "концентрацию" заменить "температурой".

11

Бытие вечно; ибо существуют законы, охраняющие сокровища жизни, которыми украшает себя Вселенная.-Гете.

12

Это оленю значит "вещество, которое окрашивается" в определенном процессе окрашивания, применяемом в микроскопической технике.

13

Онтогенез-это развитие индивидуума в течение его жизни, в противоположность филогенезу - развитию вида в течение геологических периодов.

Весьма грубо - сто или тысячу (английскихбиллионов.

15

Биолог извинит меня за то, что в этом кратком наложении я не рассматриваю исключительного случая мозаиков.

C.D.Darlington, The Handling of Chromosomes. Allen and Unwin, 1942.

17

В действительности мейоз является не одним делением без удвоения числа хромосом, а двумя делениями, почти сливающимися одно с другим, но только с одним удвоением. Результат же просто тот, что в одно и то же время образуются не две гаплоидные гаметы, а четыре.

Здесь разумеется нуклеиповокислое голодание, применяемое с целью получения более совершенно окрашивающихся препаратов.-Прим. пер.

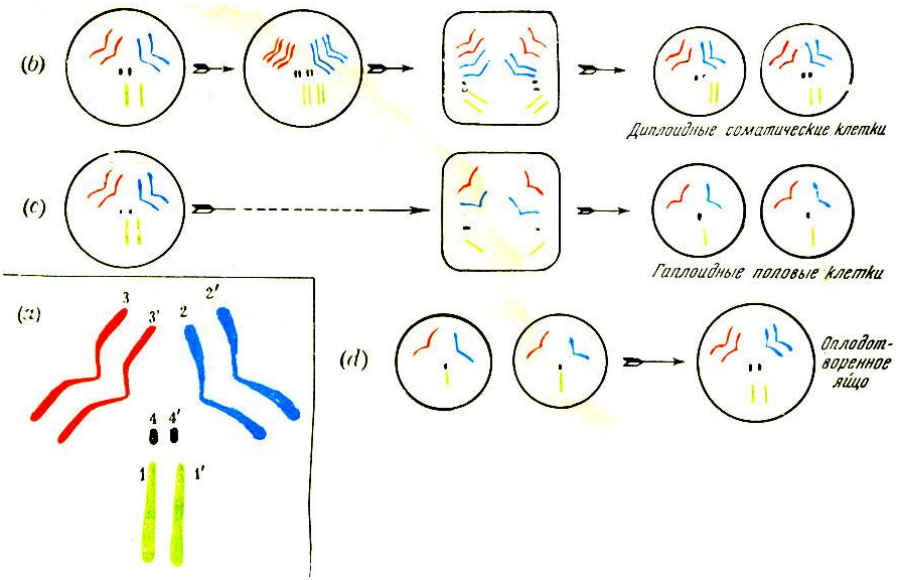

Таблица II

(a) 2*4 хромосомы в соматических клетках мушки Drosophila. Цвета указывают четыре гомологичных пары и соблюдаются в следующих весьма схематичных рисунках.

(b) Нормальное клеточное деление(митоз) диплоидной клетки.

(c) Редукционное деление(мейоз) диплоидной клетки и образование гаплоидных гамет.

(d) Оплодотворение(сингамия). Гаплоидные мужская и женская гаметы соединяются, чтобы образовать диплоидное оплодотворенное яйцо.

19

Во всяком случае, каждая женщина. Чтобы избежать многословия, я исключил из этого обзора чрезвычайно интересную область определения пола и сцепленных с полом признаков (как, например, так называемая цветная слепота).

20

Автор здесь выражается неточно, говоря о расположении в хромосоме "свойств" или "признаков". Как он сам далее указывает, в хромосоме расположены не сами свойства, а лишь определенные материальные структуры (гены), различия в которых приводят к видоизменениям определенных свойств всего организма в целом. Это надо постоянно иметь в виду, ибо Шредингер все время пользуется кратким выражением "свойства". (Прим. перев.)

21

И то, что носится в колеблющихся очертаниях, закрепляется в прочных мыслях. - Гете.

Широко обсуждался вопрос о том, не помогает ли естественному отбору (если не заменяет егоотмечавшаяся тенденция появления полезных или выгодных мутаций. Моя личная точка зрения по этому вопросу не имеет значения. Но необходимо оговорить, что возможность "направленных мутаций" не принимается во внимание в дальнейшем изложении. Более того, я не могу входить здесь также в обсуждение взаимодействия генов-"модификаторов" и "полимерных" генов, какими бы важными ни были эти вопросы для действительного механизма отбора и эволюции.

23

Слабых детей сбрасывали со скалы и таким образом старались освободить свой народ от слабых и больных потомков. (Прим. перев.)

Это не совсем точно. Отмечено, что за исключением "дикого" (обычногоаллеломорфа остальные чаще ведут себя не как доминантные и дают в сочетании друг с другом промежуточные формы. {Прим. перев.)

Нижний предел, потому что эти другие процессы не учитываются при измерении ионизации, но могут все же иметь значение при вызывании мутаций.

Nachr.a.d.Biologie d.Ges.d.Wiss.Göttingen, Bd.I,s.189,1935.

27

И пламенный полет твоего духа довольствуется изображениями и подобиями. - Гете.

28

Я принимаю версию, которая обычно дается в популярных изложениях и которая удовлетворительна для нашей настоящей цели, но я придерживаюсь дурного мнения о тех, кто увековечивает удобную ошибку. Истинная история значительно сложнее, так как она включает в себя случайную индетерминированность в отношении состояния, в котором находится система.

Zeitschrift für Physik, Chemie (A), Haber-Band, S. 439, 1928.

k - численно известная константа, называемая больтцмановской константой; 3/2 кТ представляют собой среднюю кинетическую энергию атома газа при температуре Т.

31

Для того, чтобы преодолеть порог W. (Прим. перев.)

32

Действительно, как свет обнаруживает и самого себя и окружающую тьму, так и истина есть мерило и самой себя и лжи. - Спиноза, Этика, ч. II, теор. 43.

Для удобства я продолжаю называть это изомерным переходом, хотя было бы нелепостью исключать возможность какого-либо обмена с окружающей средой.

Автор этим, невидимому, хочет сказать, что данное представление не может быть снова заменено другим в дальнейшем развитии квантовой теории. (Прим. перев.)

35

То, что оно отличается высокой гибкостью, не может служить возражением; такова же и тонкая медная проволока.

36

Ни тело не может определять душу к мышлению, ни душа не может определять тело ни к движению, ни к покою, ни к чему-либо другому (если только есть что-нибудь такое).-Спиноза. Этика, ч. III, теор. 2.

Утверждать это в совершенно общей форме относительно "законов физики" было бы, может быть, слишком вызывающим. Этот пункт будет обсуждаться в главе VII.

Буквально - обмен веществ. (Прим. перев.)

39

Если человек никогда не противоречит себе, то причина должна быть в том, что он фактически никогда ничего не говорит. - Мигуэль де Унамуно.

"Dynamische und Statistische Gesetzmassigkeit".

41

Лат. - без гнева и пристрастия. (Прим. перев.)

Упанишады - религиозно-философские книги древней Индии. (Прим. перев.)

43

Веданта - одна из философских школ брахманизма. (Прим. перев.)

44

Здесь Шредингер допускает явную оговорку, ибо на самом деле Гауризанкар и Эверест, ранее считавшиеся одной вершиной, на самом деле оказались разными пиками. (Прим. перев.)

Лат. - единственное только. (Прим. перев.)

J. F Wharton. The Saturday Review of literature № 6, 1946, New Iork.

С. И. Вавилов. "Исаак Ньютон", 2-е изд., 1945 г.

J.B.S.Ha1dane. Nature, v. 155, № 3935, 1945.

Профессор Холдэн - член Лондонского королевского общества и почетный член Академии наук СССР, член редколлегии газеты "Дейли уоркер". Известен своими работами по генетике и биохимии. (Прим. перев.)

H. G. Mu11er. The Journ of Hederity, v. 37,№ 3, 1946.

Проффессор Меллер - крупнейший современный генетик, член-корреспондент Академии наук СССР.

M.Delbruck. Quart. Rev. of biol., v. 20, 3*4, pp. 370-372, 1945.

Здесь имеется, очевидно, в виду точка зрения Бора и Иордана о значении квантовой неопределенности, которой Шредингер противопоставляет свою (детерминистическую по существуточку зрения на процессы жизни.

Z. A. V. Butler. Nature, У. 158, №4005, 1946.

Н. Ф. Гамалея, И. И. Мечников, К. А. Тимирязев. Сборник статей "Пастер", М,, Изд. Академии наук СССР, 1946.